

FLOTTASIE VAN 'N GROWWE PIRIETERTS IN 'N  
LUGGEBORRELDE HIDROSIKLOON

deur

ANDRIES JACOBUS BURGER

Tesis ingelewer ter gedeeltelike voldoening aan die  
vereistes vir die graad Magister in die Ingenieurswese  
aan die Universiteit van Stellenbosch

Studieleiers: Dr. J.S.J. van Deventer  
Mnr. F.L.D. Cloete

Universiteit van Stellenbosch  
September 1986

## SAMEVATTING

Vloeimeganika in hidrosiklone word gekenmerk deur hoë turbulensie, hoë skuifkragte en hoë sentrifugale kragte. Hierdie eienskappe word voordelig aangewend in die luggeborrelde hidrosikloon, sodat 'n ruimtetyd in die orde van slegs 1 sekonde nodig is vir doeltreffende flottasie. Hierteenoor word 'n paar minute benodig vir konvensionele flottasieprosesse.

Flottasie van piriet uit 'n growwe Witwatersrandse erts (100% -300 mikron; 92% +38 mikron) lewer 'n swawelherwinning van 90% met 'n swawelinhoud van 40% in die konsentraat wanneer die vastestofinhoud van die floddervoer 10 massa % is. Vir flodders met 'n hoër vastestofinhoud (30%) is beter herwinnings (tot 93%) moontlik, maar met 'n gepaardgaande laer swawelinhoud van 35%. 'n Swawelherwinning van 95% (40% S-inhoud) is verkry met flottasie in 'n enkelladingsel, maar hiervoor is 'n flottasietyd van 5 minute nodig.

Vir die hidrosikloon met 'n deursnit van 50 mm en 'n lengte van 410 mm, is optimum resultate verkry by 'n floddertoevoer van 35 tot 40 l/min en 'n lugtoevoer van 200 l/min. 'n Laer lugtoevoer van ongeveer 150 l/min is voldoende wanneer floddervoertempo's laer as 35 l/min gebruik word. Partikels fyner as 38 mikron flotter beter by hoër flodder-voertempo's. Hierteenoor vind optimum flottasie van growwe partikels (+106 mikron) by laer voertempo's plaas. Partikels in die fraksie (-75+38 mikron) flotter die beste en lewer 'n swawelherwinning en -inhoud van 95% en 51% respektiewelik.

'n Kollektorkonsentrasie van ongeveer 160 g/ton word benodig, wat drie maal meer is as dié gebruik tydens konvensionele prosesse. By floddervoertempo's laer as 35

1/min word die beste herwinnings met 'n lae skuimmiddel-konsentrasie verkry (ongeveer 20 mg/l). Meer skuimmiddel - tussen 50 en 60 mg/l - is nodig by hoër voertempo's.

Die luggeborrelde hidrosikloon kan waarskynlik gebruik word tydens die eerste flottasiestadia in 'n flottasiebaan en veral vir flottasie van erts fyner as 150 mikron. Verstopping van die ondervloei-uitlaat kan grotendeels uitgeskakel word deur die korrekte voetstuk-ontwerp te gebruik. 'n Voetstuk wat spesifiek met dié doel voor oë ontwerp is, is suksesvol getoets.

## SYNOPSIS

High turbulence, high shear forces and high centrifugal forces characterise the flow in hydrocyclones. These characteristics are employed advantageously in the air-sparged hydrocyclone so that a space time of only one second is necessary for effective flotation. Conventional flotation processes on the other hand require a few minutes.

Flotation of pyrite from a coarse Witwatersrand ore (100% -300 micron; 92% +38 micron) produces a sulphur recovery of 90% with a sulphur grade of 40% in the concentrate when the content of solids of the slurry feed equals 10%. Higher recoveries up to 93% are possible when slurries with a higher content of solids (e.g. 30%) are used. However, the sulphur grade then decreases to about 35%. Flotation in a batch cell produces a recovery of sulphur of 95% with a sulphur grade of 40%, but in this case a flotation time of 5 minutes is required.

A hydrocyclone with a diameter of 50 mm and a length of 410 mm produces optimum results at a slurry feed rate of 35 to 40 l/min and an air-flow rate of 200 l/min. An air-flow rate of about 150 l/min is adequate at slurry feed rates lower than 35 l/min. Flotation of particles finer than 38 micron is more successful at higher slurry feed rates. The optimum flotation of coarse particles (i.e. +106 micron) occurs at lower feed rates. The best flotation results are obtained in the size fraction between 38 and 75 micron, which produces a recovery and content of sulphur of 95% and 51% respectively.

A collector concentrate of 160 g/ton, which is thrice the quantity used in conventional processes, is required. The best recoveries at slurry feed rates lower than 35 l/min are obtained when the frother concentrate is low (approximately 20 mg/l). A higher frother concentrate, i.e. between 50 to 60 mg/l, is required at higher feed rates.



The air-sparged hydrocyclone may be used effectively for rougher flotation and especially for the flotation of ore finer than 150 micron. The use of a specially designed pedestal can minimize blockage of the underflow. Such a pedestal has been designed and tested successfully.

## BEDANKINGS

Die skrywer rig 'n woord van opregte dank aan die volgende persone en instansies:

Dr. J S J van Deventer en mnr. F L D Cloete. Hul raad en leiding was onmisbaar.

Mnr. R C Dunne vir sy deeglike organisering en hulp tydens die projek.

MINTEK wat die projek finansieel ondersteun en die hooftoerusting verskaf het.

Personeel van MINTEK wat behulpzaam was met analyses.

Werkswinkelpersoneel van die Departemente Chemiese en Metallurgiese Ingenieurswese te Stellenbosch, vir die bou van en veranderings aan apparaat.

Diegene wie belangrike morele steun gebied het.

## VERKLARING

Ek, die ondergetekende, verklaar hiermee dat hierdie tesis my eie werk is en dat geen deel hiervan aan 'n ander universiteit voorgelê is nie.

.....

A J BURGER

September 1986

I N H O U D S O P G A W E

|   | <u>Bladsy.</u> |
|---|----------------|
| SAMEVATTING   | (i)            |
| SYNOPSIS  | (iii)          |
| BEDANKINGS  | (v)            |
| LYS VAN FIGURE  | (x)            |
| LYS VAN TABELLE   | (xvii)         |
| 1. INLEIDING  | 1              |
| 1.1 Die flottasiemetode .....                                       | 1              |
| 1.2 Motivering en doel van projek .....                             | 2              |
| 2. LITERATUURSTUDIE.  | 4              |
| 2.1 Kinetiese en Chemiese aspekte van flottasie                     | 4              |
| 2.1.1 Interaksie tussen borrel en partikel                          | 4              |
| 2.1.2 Flottasie van piriet met xantaat as<br>kollektor .....        | 6              |
| 2.2 Flottasietegnieke .....   | 8              |
| 2.2.1 Klassifikasie van prosesse .....                              | 8              |
| 2.2.2 Meganiese belugting .....                                     | 9              |
| 2.2.3 Pneumatiese belugting .....                                   | 10             |
| 2.2.4 Belugting deur drukverligting .....                           | 12             |
| 2.3 Hidrosiklone .....  | 13             |
| 2.3.1 Algemene toepassing en bedryf .....                           | 13             |
| 2.3.2 Belangrike veranderlikes vir bedryf<br>van hidrosiklone ..... | 15             |
| 2.4 Flottasie in 'n luggeborrelde hidrosikloon                      | 16             |
| 2.4.1 Vroeëre navorsing .....                                       | 16             |
| 2.4.2 Tipiese tendense .....  | 17             |
| 2.4.3 Teoretiese benaderings .....                                  | 19             |
| 2.5 Samevatting van literatuurstudie .....                          | 22             |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.    | EKSPERIMENTEEL   | 23 |
| 3.1   | Apparaatopstelling .....   | 23 |
| 3.2   | Interne opstelling van luggeborrelde hidro-<br>sikloon .....                               | 28 |
| 3.2.1 | Oorspronklike voetstukontwerp .....  | 28 |
| 3.2.2 | Poreuse silinder .....   | 28 |
| 3.2.3 | Poli-etileen voetstukontwerp .....   | 31 |
| 3.2.4 | Uitlaat vir die bovloei .....  | 34 |
| 3.3   | Floddervoorbereiding .....   | 38 |
| 3.3.1 | Ertseienskappe .....   | 38 |
| 3.3.2 | Reagens-byvoeging en kondisionering  | 38 |
| 3.4   | Monsterneming en naverwerking .....  | 41 |
| 3.4.1 | Monsterneming tydens eksperimentele<br>lopie.....  | 41 |
| 3.4.2 | Naverwerking .....   | 42 |
| 3.5   | Sif- en swawelanalises .....   | 43 |
| 3.5.1 | Sifanalises .....  | 43 |
| 3.5.2 | Swawelanalises .....   | 44 |
| 3.6   | Enkelladingflottasies .....  | 45 |
| 4.    | ALGEMENE KLASSIFIKASIE VAN PARTIKELS EN WATER-<br>VERDELINGS IN LUGGEBORRELDE HIDROSIKLOON | 46 |
| 4.1   | Vloei-verdeling van suiwer water .....   | 46 |
| 4.1.1 | Invloed van lugtoevoertempo .....  | 46 |
| 4.1.2 | Invloed van ontwerp-veranderlikes....  | 48 |
| 4.2   | Klassifikasie van pirieterts .....   | 50 |
| 5.    | INVLOED VAN REAGENS-BYVOEGING TYDENS FLOTTASIE<br>IN 'N LUGGEBORRELDE HIDROSIKLOON         | 62 |
| 5.1   | Skuimmiddelbyvoeging .....   | 62 |
| 5.1.1 | Totale swawelherwinning en swawelin-<br>houd van die konsentraat .....                     | 62 |
| 5.1.2 | Flotterbaarheid van verskillende<br>groottes partikels.....                                | 64 |
| 5.2   | Kollektorbyvoeging.....  | 65 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6.    | INVLOED VAN LUGTOEVOER, FLODDERDIGTHEID EN FISIESE<br>BEDRYFSPARAMETERS    | 86  |
| 6.1   | Lugtoevoer .....   | 86  |
| 6.1.1 | Totale herwinning en swawelinhoud van<br>die konsentraat .....             | 86  |
| 6.1.2 | Herwinning van verskillende grootte-<br>fraksies .....                     | 90  |
| 6.2   | Flodderdigtheid .....  | 91  |
| 6.2.1 | Totale herwinning en swawelinhoud ...                                      | 91  |
| 6.2.2 | Herwinning van verskillende grootte-<br>fraksies .....                     | 92  |
| 6.3   | Fisiese bedryfsveranderlikes .....   | 93  |
| 6.3.1 | Voetstukverstelling .....  | 93  |
| 6.3.2 | Veranderings aan poreuse silinder ...                                      | 94  |
| 6.3.3 | Lengte van die kolkvinder .....  | 95  |
| 7.    | EVALUERING VAN LUGGEBORRELDE HIDROSIKLOON TEENoor<br>ENKELLADINGFLOTTASIES | 126 |
| 7.1   | Enkelladingflottasies met 'n BARKER-sel ....                               | 126 |
| 7.1.1 | Kollektorkonsentrasie .....  | 126 |
| 7.1.2 | Herwinning in verskillende groottefrak-<br>sies .....                      | 127 |
| 7.2   | Flottasie in luggeborrelde hidrosikloon vs.<br>enkelladingflottasies ..... | 127 |
| 8.    | GEVOLGTREKKINGS  | 134 |
| 9.    | AANBEVELINGS   | 136 |
| 10.   | VERWYSINGS   | 138 |

## BYLAE

|      |  |     |
|------|--|-----|
| A.   | INVLOED VAN VERSKILLENDE PYPKONFIGURASIES BY VERDELINGSPUNT TUSSEN HERSIRKULASIESTROOM EN HIDROSIKLOONTOEVOER                  | 143 |
| A-1: | Eksperimentele ondersoek .....   | 143 |
| A-2: | Bespreking van tendense waargeneem .....   | 143 |
| B.   | SWAWELANALISES MET BEHULP VAN LECO INDUKSIE-OOND   | 152 |
| B-1: | Titrasie van verbrandingsgasse .....   | 152 |
| B-2: | Tipliese berekeninge en herhaalbaarheid .....  | 153 |
| C.   | TIPIESE RESULTATE MET BEREKENINGE  | 155 |
| C-1: | Flottasie in luggeborrelde hidrosikloon ....   | 155 |
| C-2: | Flottasie in BARKER-enkelladingsel .....   | 162 |
| D.   | DIAGRAMMATIESE VOORSTELLING VAN DIE LUGGEBORRELDE HIDROSIKLOON OM DIE VERSKILLENDE ONDERDELE SOWEL AS DIE WERKING TE ILLUSTRER | 169 |
|      | SIMBOLE  | 170 |

\*\*\*\*\*

## LYS VAN FIGURE

|  | <u>Bladsy</u> |
|--|---------------|
| Fig. 3.1 : Diagrammatiese voorstelling van eksperimentele apparaat vir flottasie in die luggeborrelde hidrosikloon.                                    | 24            |
| Fig. 3.2 : Die eksperimentele opstelling met die kondisioneringstenk in die agtergrond.  | 25            |
| Fig. 3.3 : Die ondervloei-uitlaat van die luggeborrelde hidrosikloon. Voetstuk van vlekvrystaal. Skaal - 1:1.  | 29            |
| Fig. 3.4 : Die vlekvrystaal voetstuk met koniese voetstukring. 'n Tipiese voetstukring word afsonderlik getoon.  | 30            |
| Fig. 3.5 : Twee voetstukringe met afmetings in mm. Skaal - 1:1.  | 32            |
| Fig. 3.6 : Voorstelling van die luggeborrelde hidrosikloon om die poli-etileen versterkings by die poreuse silinder te toon. Mates in mm. Skaal - 1:1. | 33            |
| Fig. 3.7 : Die poli-etileen voetstuk-ontwerp.  | 35            |
| Fig. 3.8 : Verskillende komponente vir die poli-etileen voetstuk-ontwerp.  | 36            |
| Fig. 3.9 : Ontwerpstekening van poli-etileen voetstuk. Skaal - 1:1.  | 37            |
| Fig. 3.10: Partikelgrootte-verspreiding van pirieterts.  | 40            |
| Fig. 4.1 : Herwinning van water in die bovloei by twee kolkvinder-dieptes. Silindriese voetstukring; $\phi = 47,4$ mm, diepte = 38 mm.                 | 52            |
| Fig. 4.2 : Herwinning van water in die bovloei by verskillende lugtoevoertempo's. Koniese voetstukring (A); $\phi = 48,0$ mm, diepte = 24,25 mm.       | 53            |
| Fig. 4.3 : Herwinning van water in die bovloei by verskillende lugtoevoertempo's. Koniese voetstukring (A); $\phi = 47,5$ mm, diepte = 20,37 mm.       | 54            |
| Fig. 4.4 : Herwinning van water in die bovloei by verskillende lugtoevoertempo's. Poli-etileen voetstuk; $\phi = 46,5$ mm, mondstuk = 15 mm.           | 55            |
| Fig. 4.5 : Herwinning van water in die bovloei met gebruik van poli-etileen voetstuk en twee mondstukke. Lugtoevoer = 200 l/min.                       | 56            |

- Fig. 4.6 : Herwinning van water in die bovloei met gebruik van poli-etileen voetstuk en versterkte keramieksilinder. Drie mondstukgroottes is gebruik.  $\Phi = 48,2$  mm; lugtoevoer = 200 l/min. 57
- Fig. 4.7 : Herwinning van water in die bovloei tydens byvoeging van skuimmiddel by twee voetstukdieptes. Silindriese voetstukring;  $\Phi = 47,4$  mm. Skuimmiddel = 10 mg/l. 58
- Fig. 4.8 : Herwinning van water en vastestof in die bovloei tydens geen reagens-byvoeging. Massa % vastestof in toevoer = 10%. Lugtoevoer = 205 l/min. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. 59
- Fig. 4.9 : Herwinning van water en vastestof in die bovloei tydens geen reagens-byvoeging. Massa % vastestof in toevoer = 10%. Lugtoevoer = 200 l/min. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. 60
- Fig. 4.10: Verdeling van vastestof na die ondervloei by verskillende partikelgroottes. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Geen reagens-byvoeging. 61
- Fig. 5.1 : Swaelherwinning en -inhoud by twee skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 140 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 68
- Fig. 5.2 : Swaelherwinning by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 69
- Fig. 5.3 : Swaelinhoud by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 70
- Fig. 5.4 : Waterherwinning by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 71
- Fig. 5.5 : Vastestofherwinning by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 72



- Fig. 5.6 : Swawelherwinning vir verskillende partikelgroottes en by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. Floddervoertempo = 35 l/min. 73
- Fig. 5.7 : Swawelinhoud vir verskillende partikelgroottes en by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. Floddervoertempo = 35 l/min. 74
- Fig. 5.8 : Vastestofherwinning vir verskillende partikelgroottes en by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. Floddervoertempo = 35 l/min. 75
- Fig. 5.9 : Swawelherwinning by twee kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 50 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min. 76
- Fig. 5.10: Swawelherwinning by vier kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min. 77
- Fig. 5.11: Swawelinhoud van die konsentraat by twee kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min. 78
- Fig. 5.12: Swawelinhoud van die konsentraat by twee kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min. 79
- Fig. 5.13: Waterherwinning in die bovloei by vier kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min. 80
- Fig. 5.14: Vastestofherwinning in die bovloei by twee kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min. 81

- Fig. 5.15: Vastestofherwinning in die bovloei by twee 82  
kollektorkonsentrasies. Koniese voetstuk-  
ring (A);  $\phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm.  
Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lug-  
toevoer = 205 l/min.
- Fig. 5.16: Swawelherwinning by twee kollektorkonsen- 83  
trasies. Massa % vastestof in toevoer  
= 30%. Koniese voetstukring (A);  
 $\phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Skuimmiddel-  
konsentrasie = 50 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min.
- Fig. 5.17: Swawelherwinning vir verskillende partikel- 84  
groottes en by twee kollektorkonsentrasies.  
Massa % vastestof in toevoer = 30%.  
Koniese voetstukring (A);  $\phi = 49,0$  mm,  
diepte = 34,0 mm. Skuimmiddelkonsentrasie  
= 50 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min.  
Floddertoevoer = 42,5 l/min.
- Fig. 5.18: Swawelinhoud van verskillende partikel- 85  
groottes en by twee kollektorkonsentrasies.  
Massa % vastestof in toevoer = 30%.  
Koniese voetstukring (A);  $\phi = 49,0$  mm,  
diepte = 34,0 mm. Skuimmiddelkonsentrasie  
= 50 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min. Flodder-  
toevoer = 42,5 l/min.
- Fig. 6.1 : Swawelherwinning by vier lugtoevoertempo's. 97  
Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160  
d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm,  
mondstuk = 15 mm.
- Fig. 6.2 : Swawelinhoud by twee lugtoevoertempo's. 98  
Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160  
d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm,  
mondstuk = 15 mm.
- Fig. 6.3 : Swawelinhoud by twee lugtoevoertempo's. 99  
Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160  
d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm,  
mondstuk = 15 mm.
- Fig. 6.4 : Waterherwinning in die bovloei by twee, 100  
lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l.  
Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voet-  
stuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.
- Fig. 6.5 : Waterherwinning in die bovloei by twee 101  
lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l.  
Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voet-  
stuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.
- Fig. 6.6 : Vastestofherwinning in die bovloei by twee 102  
lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l.  
Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voet-  
stuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

- Fig. 6.7 : Vastestofherwinning in die bovloei by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. 103
- Fig. 6.8 : Swawelherwinning vir -38 en +150  $\mu$ m fraksies by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. 104
- Fig. 6.9 : Swawelherwinning vir intermediêre groottefraksies, by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. 105
- Fig. 6.10: Swawelinhoud van fyner groottefraksies, by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. 106
- Fig. 6.11: Swawelinhoud van intermediêre groottefraksies, by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. 107
- Fig. 6.12: Swawelinhoud van growwe groottefraksies, by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. 108
- Fig. 6.13: Swawelherwinning en -inhoud by hoë flodderdigthede. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. 109
- Fig. 6.14: Water en vastestofherwinning by hoë flodderdigthede. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. 110
- Fig. 6.15: Swawelherwinning en -inhoud by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Massa % vaste stof in toevoer = 30%. 111

- Fig. 6.16: Swawelherwinning en -inhoud by twee voetstukverstellings. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m. Koniese voetstuk (A). Lugtoevoer = 205 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%. 112
- Fig. 6.17: Water- en vastestofherwinning in die bo-vloei by twee voetstukverstellings. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m. Koniese voetstuk (A). Lugtoevoer = 205 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%. 113
- Fig. 6.18: Swawelherwinning vir verskillende groottefraksies. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m. Koniese voetstuk (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Lugtoevoer = 205 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%. 114
- Fig. 6.19: Swawelinhoud vir die fyner groottefraksies. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m. Koniese voetstuk (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Lugtoevoer = 205 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%. 115
- Fig. 6.20: Swawelinhoud vir growwe groottefraksies. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m. Koniese voetstuk (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Lugtoevoer = 205 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%. 116
- Fig. 6.21: Swawelherwinning en -inhoud by twee mondstukverstellings. Skuimmiddel = 20 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm. Lugtoevoer = 200 l/min. 117
- Fig. 6.22: Water- en vastestofherwinning in die bo-vloei by twee mondstukverstellings. Skuimmiddel = 20 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm. Lugtoevoer = 200 l/min. 118
- Fig. 6.23: Swawelherwinning en -inhoud tydens gebruik van die versterkte keramieksilinder. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 48,2$  mm, mondstuk = 14 mm. 119
- Fig. 6.24: Swawelherwinning vir groottefraksies tydens gebruik van die versterkte keramieksilinder. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 48,2$  mm, mondstuk = 14 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. 120

- Fig. 6.25: Swawelherwinning vir groottefraksies tydens gebruik van die versterkte keramiek-silinder. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 48,2$  mm, mondstuk = 14 mm. Lugtoevoer = 140 l/min. 121
- Fig. 6.26: Swawelinhoud van die groottefraksies tydens gebruik van die versterkte keramiek-silinder. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 48,2$  mm, mondstuk = 14 mm. Lugtoevoer = 140 l/min. 122
- Fig. 6.27: Swawelherwinning by drie kolkvinderlengtes. Skuimmiddel = 35 mg/l. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 123
- Fig. 6.28: Swawelinhoud vir drie kolkvinderlengtes. Skuimmiddel = 35 mg/l. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 124
- Fig. 6.29: Water- en vastestofherwinnings in die bo-vloei vir drie kolkvinderlengtes. Skuimmiddel = 35 mg/l. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 125
- Fig. 7.1 : Kumulatiewe herwinning van swawel tydens gebruik van verskillende kollektorhoeveelhede. Flottasie in BARKER-sel. Lugtoevoer = 6 l/min. 131
- Fig. 7.2 : Kumulatiewe herwinning van swawel vir verskillende groottefraksies en by drie kumulatiewe tydfraksies. Flottasie in BARKER-sel. Lugtoevoer = 7 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 132
- Fig. 7.3 : Kumulatiewe swawelinhoud van die verskillende groottefraksies en by drie kumulatiewe tydfraksies. Flottasie in BARKER-sel. Lugtoevoer = 7 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. 133

# LYS VAN TABELLE

|  | <u>Bladsy</u> |
|--|---------------|
| TABEL 3.1: Dimensies en fisiese eienskappe van eksperimentele apparaat   | 26            |
| TABEL 3.2: Partikelgrootte-verspreiding van toevoererts  | 39            |
| TABEL 3.3: Swawelinhoud van die verskillende groottefraksies in die toevoererts  | 39            |
| TABEL 3.4: Bedryfsveranderlikes vir enkellading-flottasies   | 45            |
| TABEL 7.1: Kumulatiewe persentasie swawelherwinning en swawelinhoud vir enkellading-flottasies by verskillende kollektorkonsentrasies              | 129           |
| TABEL 7.2: Kumulatiewe herwinning (massa) van water en vastestof vir enkellading-flottasies by verskillende kollektorkonsentrasies (massa in gram) | 129           |
| TABEL 7.3: Optimum resultate van flottasies in die luggeborrelde hidrosikloon  | 130           |

## 1. INLEIDING

### 1.1 Die flottasiemetode

Flottasie is 'n bekende skeidingsmetode wat wêreldwyd in die mynbedryf gebruik word. Navorsing word op groot skaal gedoen om steeds vinniger en beter flottasietegnieke en -apparaat te ontwikkel. In hierdie soeke na 'n meer ideale metode het Kinneberg en Miller<sup>(1)</sup> teen die einde van die neëntien sewentigs die gebruik van 'n luggeborrelde hidrosikloon (E: air-sparged hydrocyclone) voorgestel, waarmee flottasie in 'n sentrifugale veld gedoen word.

Die tydsvoordeel verbonde aan dié flottasiemetode waar 'n residensietyd van slegs 'n paar sekondes (in vergelyking met die paar minute in konvensionele flottasieprosesse) benodig word, is voor-die-hand-liggend. Hoë turbulensie (dus hoë skuifspannings) en hoë sentrifugale kragte is tipies van die dinamika in hidrosiklone. Dit word tot voordeel gebruik in die luggeborrelde hidrosikloon deurdat die botsings-effektiwiteit tussen fyner partikels en lugborrels, sowel as die skeiding tussen skuim- en flodderfase, aansienlik verhoog word.

Anders as vir konvensionele flottasieselle, bevat hierdie ontwerp geen bewegende dele (soos bv. stuwars) wat vervaardiging moeiliker en duurder maak nie. Verder word 'n relatief klein selvolume per erts massa benodig. Daar kan dus selfs daaraan gedink word om hierdie hoogs dinamiese skeidingsmetode ondergronds toe te pas, wat die totale ontginningsproses goedkoper behoort te maak.

Die luggeborrelde hidrosikloon word onderskei van die konvensionele hidrosikloon ten opsigte van:



- vorm
- aard van die buitenste wand van die hidrosikloon
- aard van die ondervloei-uitlaat.

Hierdie apparaat bestaan uit 'n silindriese hidrosikloon met 'n poreuse wand waardeur lug as derde fase loodreg van buite op die tangensiale vloeirigting van die flodder geborrel word. 'n Voetstuk met deursnee kleiner as die poreuse silinder dring die hidrosikloon aan die onderpunt binne. Sodoende word 'n annulêre opening gevorm waardeur die ondervloei-produk uitvloei. Terselfdertyd ondersteun hierdie voetstuk die skuimfase wat in die middel van die hidrosikloon vorm, sodat die skuim grotendeels as bovloei-produk deur die kolkvinder vloei.

## 1.2 Motivering en doel van projek

Dit is uit die aard van die saak sinneloos om sodanige flottasiemetode vir ertstipes te gebruik waarmee die herwinning van die flotteerbare mineraal aansienlik swakker is as tydens gebruik van 'n konvensionele metode. Hierdie proses is reeds ondersoek ten opsigte van skeiding van water- en oliemengsels<sup>(2)</sup>, flottasie van fyn steenkool<sup>(3)</sup> en flottasie van 'n koper-erts.<sup>(1)</sup> Verdere ondersoek word egter prominent aanbeveel<sup>(1)</sup> en hierdie projek is dus voorgestel as 'n voortsetting van die evaluering van die luggeborrelde hidrosikloon met spesifieke gebruik van 'n piriet-erts met 'n growwe partikelgrootte-verspreiding (92% +38 mikron; 42% +150 mikron; 100% -300 mikron).

Piriet ( $\text{FeS}_2$ ) kom baie dikwels voor as 'n geïntegreerde deel van ertsneerslae wat waardevolle minerale soos goud en uraan bevat.<sup>(4,5)</sup> In die Witwatersrand goudriewe assosieer ongeveer twintig persent van die goud ten nouste met die verskillende sulfied-minerale<sup>(6)</sup> en die herwinning van piriet, goud en uraan word dus dikwels saam ondersoek. Piriet is verder 'n primêre bron van swawel vir die



vervaardiging van swawelsuur. Indien nou in gedagte gehou word dat die gemiddelde swawelinhoud van die Witwatersrand ertsriwwe ongeveer 1,7 persent is<sup>(6)</sup> - aansienlik hoër as die inhoud van meer waardevolle minerale - behoort dit duidelik te wees dat piriet-flottasie 'n goeie keuse sal wees vir 'n aanvanklike ondersoek van die luggeborrelde hidrosikloon met 'n Suid-Afrikaanse tipe erts.

Primêr het hierdie projek dus ten doel om die mynbedryf in te lig omtrent die invloed van belangrike bedryfsveranderlikes op die flottasie van piriet in 'n luggeborrelde hidrosikloon en die daaropvolgende vergelyking van resultate met dié van flottasie in 'n standaard enkelladingsel. Wiskundige modellering kan op hierdie vroeë stadium min aandag geniet. Klem sal gelê word op tipiese tendense en die definiëring van effektiewe flottasiegebiede.

## 2. LITERATUURSTUDIE

### 2.1 Kinetiese en chemiese aspekte van flottasie

#### 2.1.1 Interaksie tussen borrel en partikel

Die maksimum tempo van flottasie word normaalweg gevind by die intermediêre partikelgroottes en is verder afhanklik van die tipe mineraal, sowel as die hidrodinamiese eienskappe van die flottasie-apparaat.<sup>(7)</sup>

Tomlinson en Fleming<sup>(8)</sup> beskou die effektiwiteit van flottasie (t.o.v. suiwerheid en herwinning) vanuit 'n waarskynlikheidsoogpunt. Hiervolgens is die totale waarskynlikheid van herwinning die produk van die waarskynlikhede van:

- (a) botsing tussen partikel en borrel,
- (b) aanhegting van partikel aan borrel,
- (c) permanente aanhegting en meevoering na die skuimfase,
- (d) oorkoming van die suiweringsaksie in die skuimfase en finale toetrede tot die konsentraat.

Die waarskynlikheid van botsing kan beskou word as 'n funksie van die partikel- en borrelradius, hul relatiewe snelhede, die digtheid van die partikel, sowel as die viskositeit van die vloeistof. Botsing en aanhegting tussen partikels en borrels is 'n onderwerp wat in die literatuur heelwat aandag geniet.<sup>(5,9,10,11)</sup> Of die partikel wel aan die borrel sal heg al dan nie, is afhanklik van die vermoë van die partikel om die diffusiegrenslaag binne te dring en dan die vloeistofvlies tussen die borrel en partikel te breek. Hierdie vloeistofvlies toon spesifieke eienskappe ten opsigte van elektrostatiese- en van der Waalskragte. Die breek van die vlies is 'n nodige, maar nie voldoende voorwaarde vir flotteerbaarheid. Dit moet plaasvind met 'n

lae energieverbruik en ook vinnig genoeg, aangesien die kontaktyd tussen die partikel en borrel slegs 'n paar millisekondes duur. (10,12)

Schulze<sup>(12)</sup> klassifiseer die flottasieproses volgens drie fundamentele stappe.

- (a) Naderbeweeg van die borrel en partikel, maar met skeiding deur 'n dun vloeistofvlies.
- (b) Breek van die vloeistofvlies met die daarstel van 'n drie-fase kontak.
- (c) Stabiliteit van die gevormde aggremaat.

Die aanhegting aan die vloeistofinterfasevlak is die bepalende stap vir die proses in geheel gesien. Kontaklose flottasie kan egter moontlik wees by baie fyn partikels.<sup>(9)</sup> In sodanige geval word daar bloot staatgemaak op elektrostatiese kragte en geen drie-fase gebied word in werklikheid gevorm nie. London- van der Waalskragte blyk dan sterk genoeg te wees om die skuifkragte te oorkom. By groter partikels is die traagheidskragte groot genoeg om effektiewe botsing met die gepaardgaande breek van die vloeistofvlies tot gevolg te hê.

Hoe kleiner die digtheid van 'n baie fyn partikel is, hoe groter is die neiging van sodanige partikel om die hidrodinamiese vloeibaar (vloei van vloeistof om borrel) te volg in plaas daarvan om 'n effektiewe botsing te ondergaan. 'n Gebrek aan traagheid by fyn partikels dra dus hoofsaaklik by tot oneffektiewe botsings.

Skuifkragte op die partikel (ná aanhegting) neem min of meer proporsioneel toe met die volume van die partikel (d.w.s. 'n derdemagstoename m.b.t. deursnee).<sup>(9,13)</sup> Die skuifkragte op 'n 100 mikron partikel is dus  $10^6$  maal groter as vir 'n 1 mikron partikel. Volgens Ahmed en Jameson<sup>(13)</sup> se beskouing van teorieë aangaande turbulensie, volg dit dat die

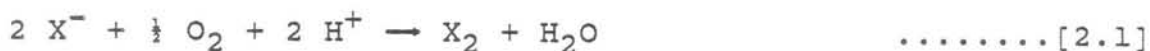
frekwensie van rotasie vir eddy-werwels die grootste is vir klein werwels. Dus sal die rotasiesnelheid van klein borreltjies om hul eie middelpunt in die algemeen hoër wees as vir groot borrels. Hier word met ander woorde beweer dat 'n klein partikel wat aan 'n klein borreltjie geheg het, groter sentrifugale skuifkragte tydens turbulensie sal ondervind as wat die geval sou wees vir hegting van dieselfde partikel aan 'n groter borrel.

Opsommenderwys is egter gevind<sup>(13)</sup> dat optimum resultate bereik word (tydens flottasie van hoë-digtheid partikels) wanneer baie fyn borreltjies (< 100 mikron) gebruik word, maar by sodanige agitاسie dat volledige suspensie net-net bereik word tydens flottasie.

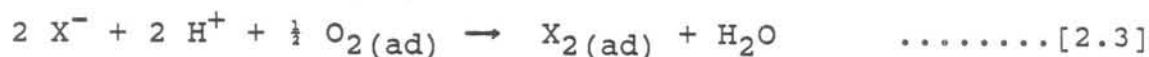
#### 2.1.2 Flottasie van piriet met xantaat as kollektor

Die woord "piriet" word soms gebruik om 'n hele reeks metaalsulfiedes te beskryf (bv.  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{Fe}_9\text{S}_8$ ,  $\text{Fe}_9\text{S}_{11}$ ,  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ , ens.)<sup>(6)</sup>, maar oor die algemeen val die klem op die  $\text{FeS}_2$ -verbinding. Met 'n ruspotensiaal van 0,22 V (in teenwoordigheid van kalium-amiel-xantaat) is piriet die mees edel sulfiederts.<sup>(14)</sup> Uit beskouings ten opsigte van die reaksie van kollektor met piriet<sup>(4,14,15,16,17,18)</sup> (met spesifieke verwysing na xantate), blyk dit dat hierdie reaksies beslis elektrochemies van aard is, met dixantogeen as die oksidasieproduk om die ertsoppervlak hidrofobiese eienskappe te gee.

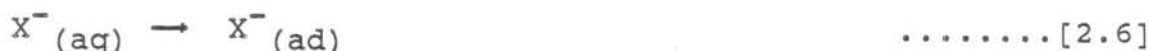
Die heterogene oppervlak van piriet, bestaande uit 'n matriks van anodiese en katodiese gebiede<sup>(14,16)</sup>, neig om die oksidasie van xantaat te kataliseer. Meer spesifiek sal in die suur pH-gebied en in die teenwoordigheid van suurstof die volgende plaasvind:



Of, in meer detail<sup>(18)</sup>:

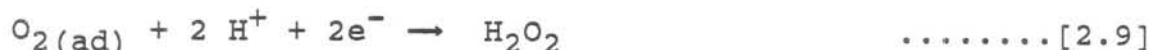


Die anodiese halfselreaksie kan soos volg beskou word:



Vergelyking 2.6 is aanvanklik die beherende stap, totdat 'n kritiese vlak van adsorpsie bereik word, waarna die elektrochemiese stap (vgl. 2.7) die reaksietempo bepaal. Volgens Haung en Miller<sup>(18)</sup> is bostaande adsorpsie-reaksie (vgl. 2.6) slegs onafhanklik van die pH indien 'n suur medium met pH laer as 5,5 gebruik word.

Wat betref die katodiese halfselreaksie word die volgende stappe voorgestel:



Waar vergelykings 2.2 en 2.8 dieselfde reaksie voorstel.

Die pH is hier weer eens 'n bepalende faktor om die beherende stap te definieer. Die adsorpsietempo is afhanklik van  $[\text{H}^+]$  in alkaliese media, maar soos by die anodiese halfreaksie, onafhanklik van  $[\text{H}^+]$  in die suur pH-gebied. In alkaliese media sal die reaksietempo dus deur vergelykings 2.9 en 2.10 beheer word.

Volgens Janetski et al.<sup>(4)</sup> blyk dit dat dixantogeen die enigste noemenswaardige oksidasieproduk is wat tydens die oksidasie van xantaat op piriet vorm. Die elektrodestroom

van die oksidasie van piriet self neem egter toe met 'n toename in pH, sodat die oksidasie van die mineraaloppervlak by 'n pH van 11,4 by voorkeur sal plaasvind bó die oksidasie van xantaat.

Uit bostaande bespreking volg dus dat flottasie van piriet verkieslik in die suur pH-gebied gedoen moet word.

Werk gedoen deur Klassen en Krokhin<sup>(19)</sup> onderskryf die moontlikheid dat die konsentrasie van kollektor hoër is op die omtrek van die drie-fase kontakgebied (tussen borrel en partikel) as op die res van die partikel. Skeiding van borrel en partikel het 'n saamtrekking of verkleining van dié drie-fase gebied tot gevolg, met die gepaardgaande uitsluiting van kollektor (dixantogeen in dié geval) in die onmiddellike omgewing van die kontakgebied. Hierdie aksie vereis 'n noodwendige verhoging van die vrye energie van die sisteem en is een moontlike rede waarom partikels met 'n inherente hidrofobiese aard nóg beter flotter in die teenwoordigheid van kollektor.

## 2.2 Flottasietegnieke

### 2.2.1 Klassifikasie van prosesse

Glembotsskii et al.<sup>(5)</sup> bespreek verskeie metodes van flottasie (bekend teen 1960) en doen 'n klassifikasie van apparaat volgens die metode van flodderbelugting.

Drie hoofkategorieë word uitgestip as:

(a) Meganiese belugting : Lug word toegevoer tot die flodder deur dit deeglik te agiteer met behulp van stuwars wat verskillende ontwerpe kan hê.

(b) Pneumatiese belugting : 'n Dispersie van lugborrels in die flodder word bewerkstellig wanneer lug op een of ander nie-meganiese metode in die flodder geborrel word.

(c) Belugting deur drukverandering : Flodder word òf teen 'n hoë druk tot die sel toegevoer, met ontspanning tydens flottasie, òf die gebied van flottasie word onder 'n vakuum bedryf.

In elke kategorie is 'n wye reeks van flottasietoestelle, elk met sy eie unieke kenmerk en toepassingsgebiede. Wat hier egter van meer belang is, is om 'n paar tipiese metodes te beskou, waar daar dan klem gelê word op die redes vir gebruik van sodanige flottasietoestelle. Verder moet tipiese probleemgebiede tydens flottasie in gedagte gehou word - soos byvoorbeeld: groot skuifkragte op growwe partikels, lae traagheid van fyn partikels met gepaardgaande swak botsingseffektiwiteit, laer stabiliteit van die borrel-partikel aggregeaat in hoë turbulente gebiede, koste van lang flottasieprosesse, ens.

Drie basiese voorwaardes vir 'n goeie flottasiesel is:<sup>(5)</sup>

- (a) Belugting moet so volledig moontlik wees.
- (b) Partikels moet homogeen versprei word in die flodder.
- (c) Die toestel moet kontinueerlik bedryf kan word en moet maklik beheerbaar wees.

## 2.2.2 Meganiese belugting

Hierdie is die metode wat reeds die wydste toepassing gevind het in die flottasiebedryf en tipiese selle soos byvoorbeeld Denver en Wemco het min bekendstelling nodig. Harris<sup>(20)</sup> en Gründer<sup>(21)</sup> gee 'n volledige bespreking in verband met die dinamika van meer spesifiek die onderbelugte meganiese selle (waar lug by die stuwer ingelaat word en die beweging van die stuwer 'n aansuigaksie ten opsigte van die lug het).



Dit is moeilik om 'n homogene verspreiding van veral growwe partikels in selle met groot volumes te bewerkstellig. Groter selle vereis gewoonlik 'n hoër spesifieke inset van energie.<sup>(22)</sup> Hierdie verhoogde energie-toevoeging het in sekere lokale gebiede oormatige turbulensie tot gevolg met die gepaardgaande ontwrigting van partikel-borrel aggregate. Bilsung et al.<sup>(22)</sup> stel derhalwe 'n metode van belugting voor waarvolgens lug teen 'n wisselende tempo tot die flodder toegevoer word. Dit blyk dat die korrekte periodiese toevoeging van lug die benodigde energie-inset verlaag, terwyl die flottasietempo van growwer partikels verhoog word.

### 2.2.3 Pneumatiese belugting

Pneumatiese flottasieselle het die voordeel dat die meganiese ontwerp daarvan oor die algemeen minder kompleks is.<sup>(23,24)</sup> Die gebruik hiervan is veral voordelig wanneer selle met groot volumes oorweeg word.<sup>(24)</sup> Verder word flottasiekolomme (ook pneumaties van aard) 'n goeie proposisie vir flottasie van fyn ertspartikels. Volgens Mitrofanov en Kharina<sup>(25)</sup> kan teenstroomvloei van die flodder, lug en die skuimproduk, sowel as deeglike konsentrasie-aksie in 'n dik skuimkolom in flottasie-kolomme bereik word. In meganiese selle is dit onmoontlik. Nebera et al.<sup>(26)</sup> beskryf 'n flottasiekolom wat van 'n sogenaamde "atmosferiese belugtingskamer" gebruik maak. Hiermee word mikro-grootte borrels (0,1 - 0,3 mm) gevorm deurdat lug by 'n divergerend-konvergerende flodder-inlaatpunt ingesuiig word om sodoende vir gedeeltelike belugting te sorg. Hierdie klein borreltjies verhoog die flottasie van fyner partikels terwyl groter partikels effens swakker flotteer. Verdere belugting word soos gewoonlik gedoen deur lug in die kolom in te borrel.

In die Davcra-flottasiesel<sup>(23)</sup> word van 'n hidrosikloon-tipe ontwerp gebruik gemaak waarmee die flodder-lugmengsel in 'n turbulente fase tot in die flottasiesel gevoer word.



Hierdie turbulente gebied verseker maksimum kontak en verhoog ook die traagheid van fyner partikels (weens hoë snelhede). Wat verder van belang is, is dat 'n stabiele gebied die kontakfase opvolg, waarin skuifkragte beperk word om flottasie van groter partikels te bevorder. Die hidrosikloon word dus bloot as 'n kontakmeganisme gebruik en dra nie by tot die skeiding van die fases nie.

'n Verdere metode van pneumatiese belugting word deur Bahr et al.<sup>(27,28)</sup> beskryf. In die geval vind belugting en skeiding van die skuim en ondervloei in twee afsonderlike eenhede plaas. Die belugtingseenheid bestaan uit 'n serie van poreuse buise wat transversaal tot die flodder-vloeirigting geïnstalleer is. Lug word deur die poreuse materiaal geblaas sodat baie fyn borreltjies met die hoogs turbulente flodderfase kontak maak.

Skeiding van die skuim en ondervloei geskied in 'n silindries-koniese tenk. Die belugte flodderfase word in 'n rigting opwaarts, parallel aan die sentrale as van die konus, tot die tenk toegevoer. Skuim word bo afgevoer terwyl die ondervloei die tenk by die koniese uitlaat verlaat. Hierdie flottasiemetode kombineer die voordeel van goeie partikel-borrel interaksie vir fyn partikels met dié van 'n minder turbulente skeidingsgebied, wat veral vir growwe partikels nodig is.

Vinniger skeiding van die skuim- en ondervloEIFase is moontlik indien 'n flottasiesikloon, soos voorgestel deur Iohn<sup>(23)</sup>, gebruik word. Druk lug word gebruik om die toevoer van flodder tot 'n buitenste annulêre ruimte van die hidrosikloon te inisieer. Meer lug is hiervoor nodig as wat vir die werklike flottasie nodig is, sodat oormaat lug weer aan die bokant van die annulus verwyder word. Die lug word dus tegelykertyd as aandryfbron vir turbulente vermenging, sowel as vir die flottasieproses opsigself gebruik.

Die skuimfase beweeg hierna na die binneste silindriese gedeelte van die sikloon terwyl 'n sifplaat (tussen die koniese en silindriese gedeelte) dan verhoed dat oormaat turbulensie weer die swaarder partikels afskeur.

#### 2.2.4 Belugting deur drukverligting

Hierdie metode sal kortliks bespreek word aan die hand van apparaat voorgestel deur Nonaka en Uchio<sup>(29)</sup> en Iohn<sup>(23)</sup>. Die vakuumsel hier voorgestel<sup>(23)</sup>, lyk van buite baie soos die flottasiesikloon<sup>(23)</sup>. 'n Flodder word onder druk in 'n kondisioneringstenk voorberei deur lug daarin op te los. Hierdie lugversadigde flodder word na die flottasiesel (wat onder 'n vakuum funksioneer) gedwing bloot deur die drukverskil. Die sel is in die vorm van 'n hidrosikloon (silindries-konies). Fyn lugborreltjies vorm nou weens drukverligting van die flodder terwyl 'n verdere toevoer van lug aan die onderpunt van die sikloon gedoen word. 'n Vlakbeheermeganisme wat aksiaal in die hidrosikloon aangebring is, dien ook as afvoer vir die geflotteerde ondervloei. Die skuimlaag wat aan die bokant van die flottasiesel akkumuleer, word uitgesuig na 'n hidrosikloon waar die lug en konsentraat skei. Dit dien dan ook as bron van vakuumontwikkeling vir die flottasiesel.

'n Meer wiskundige beskouing van 'n flottasie-hidrosikloon wat as drukflottasiesel funksioneer, word deur Nonaka en Uchio<sup>(29)</sup> gegee. In dié geval word 'n silindriese hidrosikloon gebruik. Flodder word weer eens onder hoë druk met lug versadig terwyl dit in 'n kondisioneringstenk gemeng word. Die toevoer van flodder tot die hidrosikloon gaan met drukverligting gepaard, met die noodwendige vrystelling van lugborreltjies. Hier word veral ook aandag gegee aan die invloed wat die deursnee van die sikloon-inlaat op die flottasie-resultaat het. Dit blyk dan duidelik te wees dat die tempo van botsings tussen partikels en borrels beslis bepaal word deur die inlaat-snelheid en dus die toevoertempo tot die hidrosikloon.

Die voordele van hierdie metode is dat klein lugborreltjies ontwikkel wat altyd beter is vir flottasie van fyn partikels. Die kontakgebied in die hidrosikloon verskaf 'n hoë mate van turbulensie en die tempo van skeiding is ook aansienlik hoër as by konvensionele prosesse. Die flottasie van fyn ertspartikels baat dus veral hierby.

'n Bespreking van die luggeborrelde hidrosikloon<sup>(2,3,26,30,-31,32)</sup> word in afdeling 2.4 gegee. Verdere voorbeelde (soos bv. elektrolitiese selle<sup>(23)</sup>) kan bespreek word, maar daar sal vir die doel van die studie volstaan word by bostaande voorbeelde wat in 'n groter mate relevant tot die metode van flottasie in 'n luggeborrelde hidrosikloon is.

### 2.3 Hidrosiklone

#### 2.3.1 Algemene toepassing en bedryf<sup>(33,34)</sup>

Bradley<sup>(33)</sup> gee 'n deeglike uiteensetting van verskillende aspekte aangaande die bedryf van hidrosiklone. Toepassingsgebiede kan gerieflikheidshalwe soos hieronder verdeel word volgens die verskillende fases wat geskei word:

Vastestof van vloeistof  
 Vastestof van vastestof  
 Vloeistof van vloeistof  
 Gas van vloeistof.

Indien vastestof van vloeistof geskei word<sup>(33,34)</sup>, word die benaming verdikker aan sodanige hidrosikloon gekoppel. Die ontwerp is dan ook só dat maksimum effektiwiteit vir skeiding van alle partikels wat toegevoer word, moontlik is. Hierdie sikloon word meestal gebruik vir skeiding van partikels in die gebied 5 tot 200 mikron.

Weens verskille in vastestofeienskappe wat betref grootte, digtheid en vorm, kan klassifikasie van partikels op grond hiervan gedoen word.<sup>(33,35)</sup> Hierdie skeiding van vastestowwe is dan afhanklik van die waarskynlikheid van herwinning van 'n sekere groottefraksie en gee aanleiding tot die feit dat klassifikasie nooit skerp gedefinieer is nie. Dit moet aanvaar word dat sommige growwe materiaal in die fyn fraksie te voorskyn sal kom en omgekeerd.

Alhoewel die skeiding van twee vloeistoffases in 'n hidrosikloon voordelig is weens die eenvoud van die sisteem, hoë kapasiteit en klein bedryfsruimte, het dit die tekortkoming dat volkome skeiding weer eens nie in een stadium kan plaasvind nie. Verder kan die toevoertempo nie te hoog wees nie aangesien 'n toename in turbulensie 'n afname in die druppelgroottes in die toevoerseksie veroorsaak, met 'n gepaardgaande afname in skeidingseffektiwiteit. Emulsifering kan ook plaasvind wanneer oormaat turbulensie aanleiding gee tot té hoë skuifkragte in die hidrosikloon.

Skeiding van 'n gas- en vloeistoffase noodsaak 'n afwyking van die konvensionele hidrosikloon ontwerp aangesien die kern van die sikloon normaalweg bestaan uit 'n gaskolom wat strek vanaf die kolkvinder tot by die koniese uitlaat aan die onderkant. Om dus te verhoed dat die gasfase in beide uitlaatpunte te voorskyn kom, word 'n paar alternatiewe ontwerpe voorgestel.<sup>(33)</sup>

(a) Die gebruik van 'n silindriese sikloon met geen onderste uitlaat nie, maar met 'n annulêre kolkvinder waar die vloeistof dan die sisteem deur die annulus verlaat.

(b) Die gebruik van 'n silindriese sikloon met slegs een aksiale uitlaat en 'n tangensiale uitlaat vir verwydering van die vloeistof.

(c) Die invoeging van plat skywe by die basis van die hidrosikloon om sodoende die gaskern te breek en slegs onttrekking van vloeistof aan die onderkant toe te laat.

Hidrosiklone vind veral verdere toepassing waar toestande van hoë hidrodinamiese skuifkragte, hoë turbulensie en hoë vloeisnelhede nodig is soos by warmte- en massa-oordragsprosesse.

### 2.3.2 Belangrike veranderlikes vir bedryf van hidrosiklone

'n Groot aantal veranderlikes beïnvloed hidrosikloonwerking.<sup>(33,34,36)</sup> Daar is egter 'n paar wat meer essensieel is en spesifiek bespreek sal word.

(a) Hidrosikloondeursnee ( $D_C$ ):  $D_C$  verteenwoordig die deursnee van die silindriese gedeelte van die hidrosikloon. Volgens Bradley<sup>(33)</sup> is die 50% verdelingspunt ( $d_{50}$ ) soos volg afhanklik van  $D_C$ :

$$d_{50} \propto D_C^x \quad 1,36 \leq x \leq 1,52 \quad \dots\dots\dots[2.11]$$

'n Kleiner sikloondeursnee impliseer dus 'n kleiner partikelgrootte wat na die bovloei gevoer word.

(b) Deursnee van in- en uitlaatopeninge : Die drie basiese ontwerpveranderlikes wat hidrosikloonwerking beheer, is die openinggroottes van die toevoer  $D_i$ , bovloei  $D_o$  en ondervloei  $D_u$ .  $D_i$  en  $D_o$  bepaal die partikelgrootte van skeiding sowel as drukval, terwyl  $D_u$  'n prominente rol speel by die vloeiverdeling en egaligheid van die ondervloei. Vir 'n reghoekige inlaatopening word  $D_i$  geneem as die deursnee van 'n sirkel met dieselfde deursnitoppervlak. Die keuse van die korrekte inspuitsnelheid (dus ook  $D_i$ ) hang in 'n groot mate saam met die tipe skeiding wat gedoen moet word, die keuse van  $D_o$ , die toegelate drukval, ensovoorts.

'n Bespreking deur Bradley<sup>(33)</sup> impliseer dat  $D_i$ -waardes ekwivalent aan  $D_c/3$  tot  $D_c/15$  moontlik is. Wat betref  $D_o$  word 'n deursnee tussen  $D_c/2,3$  en  $D_c/8$  aanbeveel, maar dit is weer eens afhanklik van onder andere die keuse van  $D_i$  en onderstaande verband tussen dié twee veranderlikes behoort 'n beter aanduiding te gee.

$$2D_i + D_o = (0,35 - 0,7)D_c \quad \dots\dots\dots[2.12]$$

Aangesien die ondervloei-opening baie dikwels verstelbaar is, of andersins toegerus is met 'n smoorklep waarmee die vloei beheer word, is  $D_u$  nie so krities soos  $D_i$  en  $D_o$  tydens die ontwerp-stadia van 'n hidrosikloon nie. Die ondervloei-stroom moet altyd aangepas word by die tipe skeiding wat verlang word en is nie net afhanklik van die toepassings-gebied nie, maar ook van die partikelgrootte-verdeling.

## 2.4 Flottasie in 'n luggeborrelde hidrosikloon

### 2.4.1 Vroeëre navorsing

'n Luggeborrelde hidrosikloon met 'n deursnee van 5 cm is gebruik om gedispergeerde olie en water te skei.<sup>(2)</sup> 'n Oliekonsentrasie in die bovloei, ses maal hoër as dié in die toevoer, was moontlik indien 'n 1/10-verhouding vir water-verdeling tussen die bo- en ondervloei-strome gebruik is. Die beste resultate is verkry by 'n lug/water verhouding van 11/10.

Die ontwerp van die luggeborrelde hidrosikloon is aangepas vir sodanige skeiding<sup>(2)</sup> deurdat die water-olie-mengsel aan die onderpunt (tangensiaal) ingevoer is. Beide die uitlaat-openinge vir die water- en oliefases was aan die bopunt van die hidrosikloon. Die swaarder waterfase het deur 'n omtrekliggende annulêre opening uitgevloei terwyl die oliefase die hidrosikloon deur die konvensionele kolkvinder verlaat het.

Miller en Van Camp<sup>(3)</sup> het die flottasie van steenkool (-590 mikron) ondersoek. Die as- en swawelinhoud van hierdie steenkool was 24% en 1,6% respektiewelik. 'n Deursnee van 152 mm is vir hierdie hidrosikloon gebruik, sodat die kapasiteit daarvan ongeveer 1 ton per uur was. Bemoedigende resultate is verkry en tot 75 persent van die steenkool, met 'n asinhoud van 15 persent, kon herwin word. Die asinhoud van die ondervloei-produk sou dan ongeveer 50% wees. Verskillende ontwerpe is ondersoek<sup>(33)</sup> en daar is gevind dat die beste konfigurasie 'n silindriese, vertikaal-georiënteerde hidrosikloon is, waar die flodder tangensiaal by die bopunt toegevoer word.

'n Studie van die flottasie van 'n fyn kopersulfied-erts<sup>(1,32)</sup> verskaf die meeste inligting omtrent die karakteristieke gedrag van die luggeborrelde hidrosikloon tydens flottasie van 'n algemene tipe erts. Die gemiddelde digtheid van hierdie erts was  $2780 \text{ kg/m}^3$ . Tagtig persent was fyner as 210 mikron en 34% fyner as 37 mikron. Lugtoevoer, toevoertempo van flodder, die persentasie vastestof in die flodder en hidrosikloonlengte was tipiese veranderlikes waaraan aandag geskenk is. 'n Verdere bespreking hiervan volg in seksie 2.4.2.

#### 2.4.2 Tipiese tendense<sup>(1,32)</sup>

##### (a) Floddertoevoer en lugtoevoer

Floddertoevoer beheer: - die sentrifugale kragte  
- die mate van turbulensie

Lugtoevoer beheer : - die mate van turbulensie  
- grootte van die lugborrels  
- die verdeling van water.

Die herwinning van +150 mikron partikels was beter by laer sentrifugale kragte terwyl 'n maksimum herwinning van -37



mikron partikels by hoër toevoertempo's verkry is. Growwe partikels het 'n relatief lae sensitiviteit (t.o.v. koperherwinning) getoon by wisselende lugtoevoertempo's. 'n Toename in lugtoevoer vanaf 137 na 203 liter per minuut het egter 'n duidelike verbetering getoon in die herwinning van -37 mikron partikels. 'n Verandering in die toevoertempo van flodder het skynbaar geen noemenswaardige effek op die dikte van die kolkende vloeistoflaag (teen die poreuse wand) nie. Hierdie gevolgtrekking was egter net relevant wanneer die voetstuk verwyder is en daar dan in effek geen beperking op die ondervloei was nie. In teenstelling hiermee het 'n toename in lugtoevoer beslis die dikte van hierdie vloeistoflaag laat toeneem.

Die luggeborrelde hidrosikloon het sekere eienskappe van 'n konvensionele hidrosikloon openbaar wanneer die klassifikasie van hidrofiliese partikels ondersoek is. Dit is naamlik:

- 'n S-vormige klassifikasie kurwe.
- 'n Asimptoot by die fyner fraksies wat ekwivalent aan die waterverdeling is.
- 'n Snypunt omgekeerd eweredig aan floddertoevoer.

Die korrekte waterverdeling is 'n kritiese faktor wat betref die effektiewe funksionering van die luggeborrelde hidrosikloon.

#### (b) Persentasie vastestof in die flodder

'n Hoër ertsdigtheid sal neig om die dikte van die vloeistoflaag teen die wand te verhoog, met 'n gepaardgaande toename in verdeling na die bovloei. Die meeste eksperimentele werk is met 10 massa % flodders gedoen. Toetse met 30 massa % flodders het 'n effens hoër koperherwinning gelewer, maar die koperinhoud van die konsentraat het dan dienoooreenkomstig gedaal.



## (c) Chemikalie-byvoeging

Skuimmiddel beheer die borrelgroottes en daarom ook die dikte van die kolkende waterlaag. Daar is gevind dat 'n toename in skuimmiddelkonsentrasie die waterverdeling na die bovloei verhoog tot by 'n punt waar verdere byvoeging nie meer 'n effek het nie.

Die invloed van kollektor is geensins ondersoek nie.

## (d) Eienskappe van poreuse silinder

Teen die verwagting in blyk die herwinning van -38 mikron partikels onafhanklik van die lengte van die silinder te wees. Growwe partikels toon egter 'n duidelike toename in koperherwinning wanneer die sikloonlengte toeneem. 'n Lengte/deursnee verhouding van ongeveer 15 word dan voorgestel as die mees effektiewe dimensies van hierdie poreuse silinder. 'n Poriegrootte van 1 mikron het beter resultate gelewer as wanneer 'n silinder met 20 mikron porieë gebruik is. Sodanige gevolgtrekking moet egter versigtig gemaak word aangesien die deursnitte van hierdie silinders nie presies dieselfde was nie.

Pogings om hierdie luggeborrelde hidrosikloon sonder 'n kolkvinder te bedryf (met 'n sg. ontspanningskamer vir die bovloei-uitlaat) het onbevredigende resultate gelewer. 'n Tweedefase-flottasie van die ondervloei-produk het hier-teenoor 'n beter totale herwinning van koper gelewer. Algemene flottasie-resultate het gunstig vergelyk met resultate van enkelladingflottasies.

2.4.3 Teoretiese benaderings

'n Belangrike ondersoek ten opsigte van borrelvorming en vloeiprofile is met behulp van hoëspoed fotografie en

laser-doppler-vloeimetings gedoen.<sup>(30,32)</sup> 'n Vereenvoudigde sisteem is uit die aard van die saak getoets deurdat 'n nie-poreuse (deursigtige) vertikale silinder gebruik is met geen vastestof in die vloeistoffase nie. Geen voetstuk is gebruik nie, sodat die ondervloei-uitlaat onbeperk was.

#### (a) Vloeipatrone

'n Visuele ondersoek van die kolkende vloeistoflaag teen die sikloonwand toon gedefinieerde bane van afwissellende helder en donker vloeilyne.<sup>(35)</sup> Hierdie lewer bewys van 'n golfpatroon wat op die oppervlak van die vloeistoflaag vorm (karakteristieke golflengte in die orde van 'n paar tiendes van 'n millimeter). Verder vorm die golwe 'n hoek van  $45^\circ$  met die horisontale as, sodat verwag kan word dat die aksiale en tangensiale vloeisnelhede min of meer dieselfde is. Laser-doppler vloeistofmetings het dit bevestig. Die radiale vloeikomponent is heeltemal tereg aanvaar as nul omdat die kolkende vloeistoflaag baie dun was.

Beide die tangensiale en aksiale snelhede toon 'n duidelike afname in die gebied direk onder die inlaat, waarna dit weer toeneem. Hierna neem albei geleidelik af - die tangensiale effens meer as die aksiale.

#### (b) Dikte van die vloeistoflaag<sup>(30)</sup> en borrelvorming<sup>(30,32)</sup>

Die dikte van die vloeistoflaag word met die volgende vergelykings bereken:

$$\delta(t) = \left[ \frac{v_{z0t}^2 \pm (v_{\theta zt}^4 - 4g^2 \cdot R^2)^{\frac{1}{2}}}{2g^2/9\nu^2} \right]^{1/4} \dots\dots\dots [2.13]$$

$$v_{\theta zt} = (v_{\theta t}^2 + v_{zt}^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots [2.14]$$

$$v_{zt} = \frac{g\delta_{av}^2}{2\nu} \{1 - \exp(-2\nu t/\delta_{av}^2)\} \dots\dots\dots [2.15]$$

$$v_{\theta t} = v_{in} \cdot \exp(-2\nu t / \delta_{av}^2) \quad \dots\dots\dots[2.16]$$

Indien die turbulente kinematiese viskositeit voorgestel kan word soos in vergelyking 2.17, kan  $\delta_{av}$  volgens 'n iteratiewe metode bepaal word.

$$\nu_t = \nu_\ell \cdot (D_{in} \cdot v_{in} / \nu)^{7/8} \cdot 10^{-2} \quad \dots\dots\dots[2.17]$$

'n Eenvoudige teoretiese afleiding vir die grootte van 'n borrel (gevorm deur 'n enkele opening in die wand van die hidrosikloon) lewer die volgende vergelyking:

$$r_b = r_o \cdot (v^*)^{\frac{1}{2}} \cdot \cos \{1/3 [\cos^{-1}(9/v^*)^{\frac{1}{2}} + 2\pi k]\} \quad [2.18 a]$$

vir  $(9/v^*)^{\frac{1}{2}} < 1$   
of

$$r_b = r_o \cdot (v^*)^{\frac{1}{2}} \cdot \cosh \{1/3 [\cosh^{-1}(9/v^*)^{\frac{1}{2}}]\} \quad [2.18 b]$$

vir  $(9/v^*)^{\frac{1}{2}} > 1$   $k = 0, 1, 2$

Hoëspoed fotografie het getoon dat:

- die invloed van oppervlaktetension op borrelgrootte is weglaatbaar,
- lugborrels smelt nie saam by die punt van borrelvorming nie,
- borrelgrootte neem toe met toenames in lugtoevoer en viskositeit van die vloeistof en
- individuele borrels beweeg volgens Stokes se wet.

Alhoewel hierdie vergelykings vereenvoudigde benaderings voorstel, kan dit gebruik word om sekere tendense te voorspel en lê dit ook die grondslag vir verdere modelleringswerk.

## 2.5 Samevatting van Literatuurstudie

'n Onderzoek na die flottasie in 'n luggeborrelde hidrosikloon kombineer verskeie aspekte van flottasie- en hidrosikloontegnologie. Die doel van hierdie literatuurstudie was dus tweërlei van aard:

Eerstens om meer insig te verkry omtrent die flottasie van piriet, waaruit dit ook duidelik moet volg waarom flottasie in die teenwoordigheid van xantaat verkieslik by 'n lae pH gedoen moet word. Die basiese begrippe om botsings-effektiwiteit tussen partikels en borrels te verduidelik, is dan verder nodig en veral ook omdat die luggeborrelde hidrosikloon juis voorgestel is as 'n tipe ontwerp wat hierdie effektiwiteit behoort te verhoog.

Tweedens moes agtergrond verskaf word omtrent verskillende tegnieke van flottasie om sodoende die verband tussen die luggeborrelde hidrosikloon en ander ontwerpe in perspektief te plaas. 'n Verduideliking van die gedrag van die luggeborrelde hidrosikloon was dus ook noodsaaklik.

Uit seksie 2.4.1 volg dat net beperkte gebiede van bedryf vir hierdie luggeborrelde hidrosikloon nog ondersoek is. Meer eksperimentele inligting is dus nodig om die flotterbaarheid van ander tipes erts met hierdie tegniek te beskryf. Veranderlikes soos byvoorbeeld die invloed van kollektorkonsentrasie en 'n growwer gemiddelde partikel-grootte verdien meer aandag. Die feit dat goeie resultate<sup>(3,1)</sup> verkry is, regverdig verdere navorsing met ander ertstipes.

### 3. EKSPERIMENTEEL

#### 3.1 Apparaatopstelling

Figure 3.1 en 3.2 illustreer die eksperimentele opstelling terwyl tabel 3.1 verdere inligting aangaande dimensies en eienskappe van die apparaat verskaf. (Sien ook Bylaag D).

Die toevoer na die hidrosikloon is voorsien vanaf 'n kondisioneringstenk met 'n kapasiteit van 450 liter. Die stuwer, sowel as die wande van hierdie tenk is met rubber uitgevoer om moontlike afskuring van ertspartikels en korrosie van die mengapparaat te verminder. Floddervoer is aan die onderkant van die tenk onttrek deur 'n sentrifugale pomp.

Daar moes so ver as moontlik gepoog word om te alle tye 'n verteenwoordigende ertsmonster vanuit die tenk te onttrek. Homogene vermenging van die flodder was dus 'n essensiële voorvereiste en daarom is daar, afgesien van die stuwer se meng-aksie, ook nog van 'n sterk hersirkulasiestroom van ongeveer 200 liter per minuut gebruik gemaak om addisionele menging te verkry.

Om te verhoed dat flottasie in die kondisioneringstenk self plaasvind, is dit noodsaaklik dat die uitlaat van die hersirkulasiestroom te alle tye onder die flodderoppervlak uitmond. Indien nie, word lugborrels deur die instromende flodder vasgevang wat dan lei tot voortydige flottasie.

Nadat die flodderstroom die sentrifugale pomp verlaat het, word dit deur middel van 'n Y-vormige koppelstuk verdeel in die hersirkulasiestroom en 'n hidrosikloon-toevoerstroom (Soos getoon in fig. 3.1). Inleidende eksperimentele werk het aan die lig gebring dat die keuse van 'n spesifieke konfigurasie by hierdie verdelingspunt 'n rol te speel het wat betref die homogene verdeling van die ertsmonster tussen

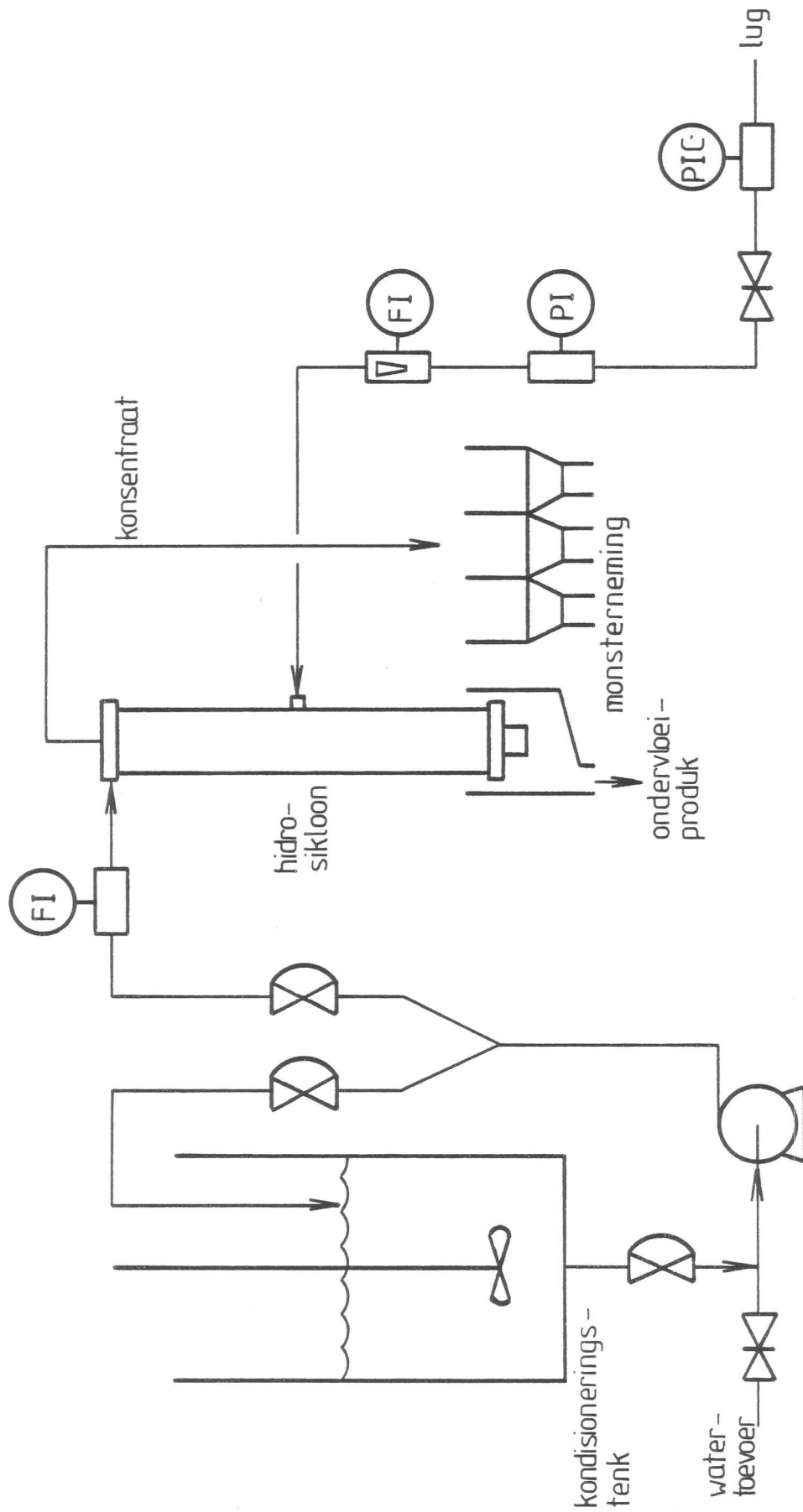


Fig. 3.1 : Diagrammatiese voorstelling van eksperimentele apparaat vir flottasie in die luggeborrelde hidrosikloon.

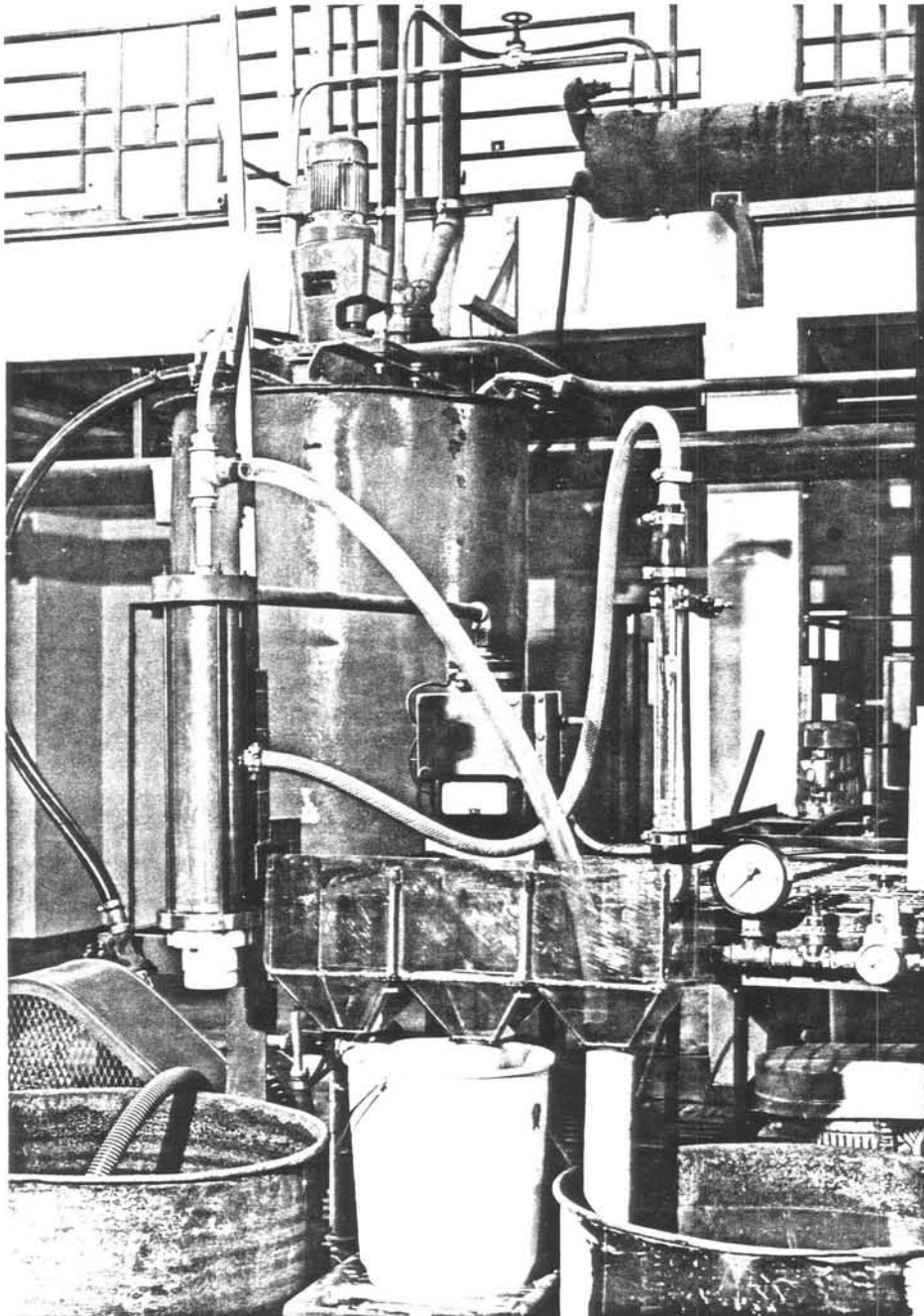


Fig. 3.2 : Die eksperimentele opstelling met die kondisioneringstenk in die agtergrond.

Tabel 3.1: Dimensies en fisiese eienskappe van eksperimentele apparaat.

|  |   |
|--|---|
| Sentrifugale pomp                      | WARMAN (tipe R)<br>(64 mm)<br>5,5 kW, 1800 o.p.m.                         |
| Menger                                 | skepskroef-tipe<br>(deursnit: 270 mm)<br>(3 lemme)<br>0,37 kW, 300 o.p.m. |
| Kondisioneringstenk                    | 470 liter   |
| Vloeimeter                             | magneties<br>(0-100 l/min)<br>(neopreen-voering)                          |
| Hidrosikloon:                          |   |
| poreuse silinder - lengte              | 410 mm  |
| - buitedeursnee                        | 70 mm   |
| - binnedeursnee                        | 50 mm   |
| buitenste PVC-silinder - binnedeursnee | 79,3 mm   |
| reghoekige flodderinlaat               | 15,8 x 5,4 mm   |
| kolkvinder - buitedeursnee             | 16,1 mm   |
| - binnedeursnee                        | 12,7 mm   |
| kolkvinderlengte                       | verstelbaar   |
| voetstukdeursnee                       | verstelbaar   |



die hersirkulasie- en toevoerstroom (Bylaag A beskryf kortliks die invloed van sodanige konfigurasies). Die deursnitoppervlaktes van die twee uitlaatstukke by die Y-koppelstuk is dan ook so gekies dat die gemiddelde vloeisnelheid in beide so ver as moontlik dieselfde kon wees.

Die vloeisnelheid van die hidrosikloon-toevoer is met behulp van 'n magnetiese vloeimeter beheer. Hierdie meting is nie aanvaar as die finale waarde nie, maar het die kontrolering en regulering van die toevoersnelheid ten doel gehad. (Die werklike vloeisnelheid is m.b.v. massabepalings van die bo- en ondervloeimonsters verkry. Sien seksie 3.4.1. en Bylaag C.) Die flodder is daarna tangensiaal deur 'n reghoekige inlaat tot die hidrosikloon toegevoer.

Die lugvloei tempo is met behulp van 'n rotameter en drukmeter bepaal. Deur van beide lesings gebruik te maak, kon die vloei tempo dus in liter per minuut aangegee word en spesifiek by 15 °C en  $1,013 \times 10^5$  Pa. Hierdie temperatuur en druk is as standaard toestande aanvaar juis omdat Kinneberg en Miller<sup>(1)</sup> dit so gedoen het en sodoende kon resultate sinvol vergelyk word. Dit word nou beklemtoon dat alle lugvloei tempo's wat in verdere besprekings aangegee word, by bogenoemde toestande geldig is.

Alhoewel die druk aan die rotameterkant van die smoorklep selde hoër as 60 kPa (meterdruk) gestyg het, is 'n relatief hoë reguleerderdruk van 500 kPa (meterdruk) voor die smoorklep gehandhaaf. Sodoende is veranderinge in die rotameterlesings beperk tot relatief klein hoeveelhede indien daar 'n verandering in floddertoevoer sou wees. Die lugtoevoer is gefiltreer om verstopping van die porieë in die keramieksilinder te voorkom.

### 3.2 Interne opstelling van luggeborrelde hidrosikloon

#### 3.2.1 Oorspronklike voetstukontwerp

Figure 3.3 en 3.4 toon die oorspronklike konfigurasie soos gebruik deur Cevikmen en Dunne<sup>(31)</sup>. Die deursnee van hierdie vlekvrystaal voetstuk was 40 mm en die diepte van indringing in die hidrosikloon was verstelbaar. Aangesien hierdie ontwerp 'n groot annulus (tussen voetstuk en silinder) toegelaat het, is die ondervloei in werklikheid deur middel van reghoekige gleuwe beheer. Hierdie gleuwe se grootte was verstelbaar, maar aangesien dit oor 'n relatief groot omtrek-oppervlak versprei was, moes hierdie openinge baie klein wees om die gewenste verdeling na die bovloei te verkry. Verstopping asook onakkurate bepaling van die gleufopeninge was dus twee wesenlike probleme.

Die voetstukontwerp is dus aangepas om verteenwoordigend te wees van die ontwerp wat deur Kinneberg en Miller<sup>(1)</sup> gebruik is. Sogenaamde voetstukringe, wat styf oor die oorspronklike voetstuk pas (fig. 3.4), is uit geelkoper vervaardig. Hierdie ringe het 'n koniese vorm wat dan die verstelling van die annulêre opening moontlik kon maak deur bloot die voetstukdiepte te varieer. Figuur 3.5 toon hoe twee tipiese voetstukringe lyk. Met behulp van hierdie ringe, is die reghoekige gleufopeninge dus altyd heeltemal oop gehou sodat dit nie die uitvloei van die ondervloeiastroom sou beperk nie. Verwysingsvlak AA (fig. 3.3) is gebruik om die effektiewe deursnee asook penetrasie van die voetstuk te definieer tydens gebruik van die koniese ringe.

#### 3.2.2 Poreuse silinder

Hierdie silinder is die primêre struktuur van die hidrosikloon en dien as gesamentlike belugtings- en skeidingsruimte tydens die flottasieproses. Dit is

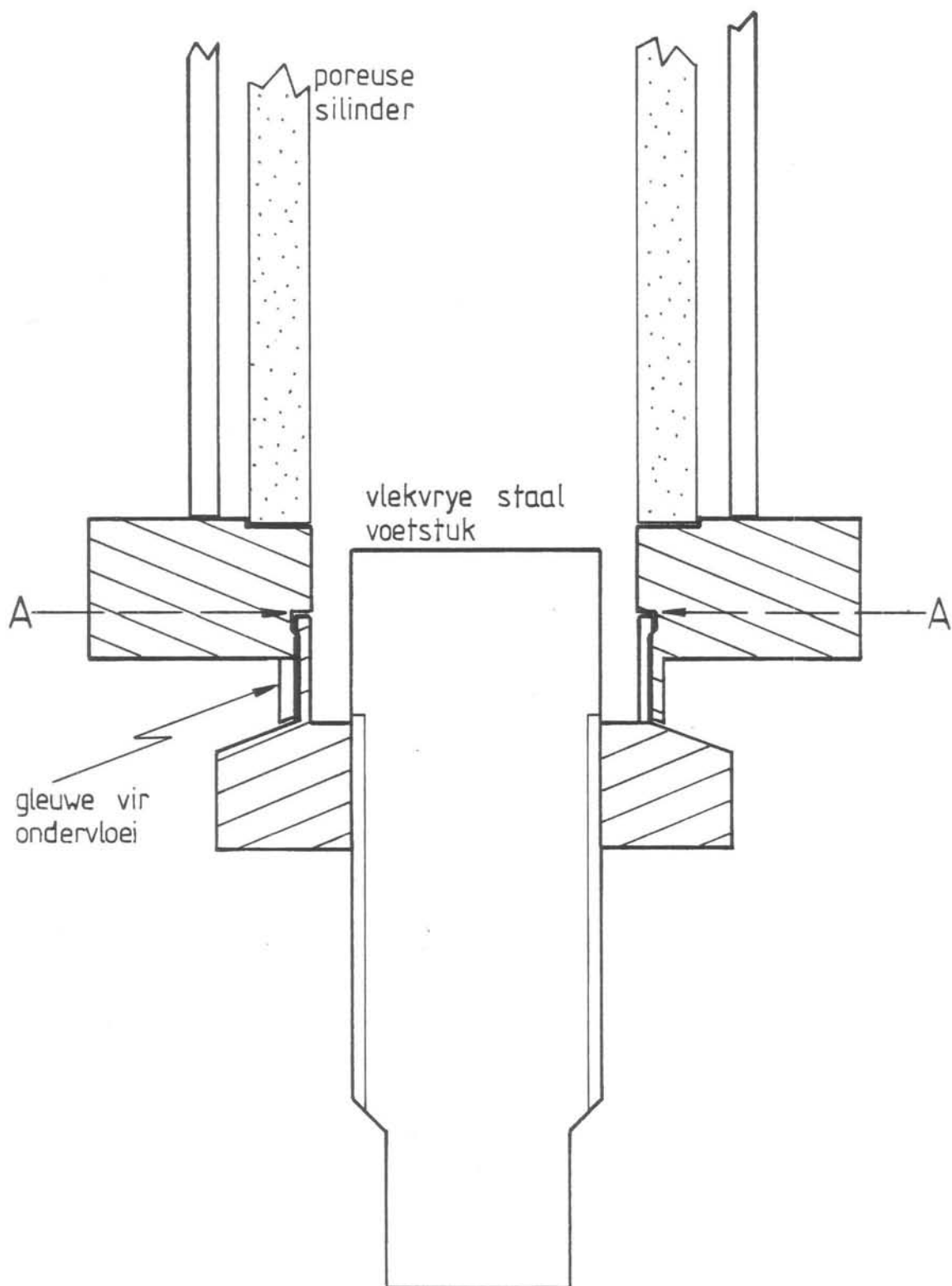


Fig. 3.3 : Die ondervloei-uitlaat van die luggeborrelde hidrosikloon. Voetstuk van vlekvrye staal. Skaal - 1:1.

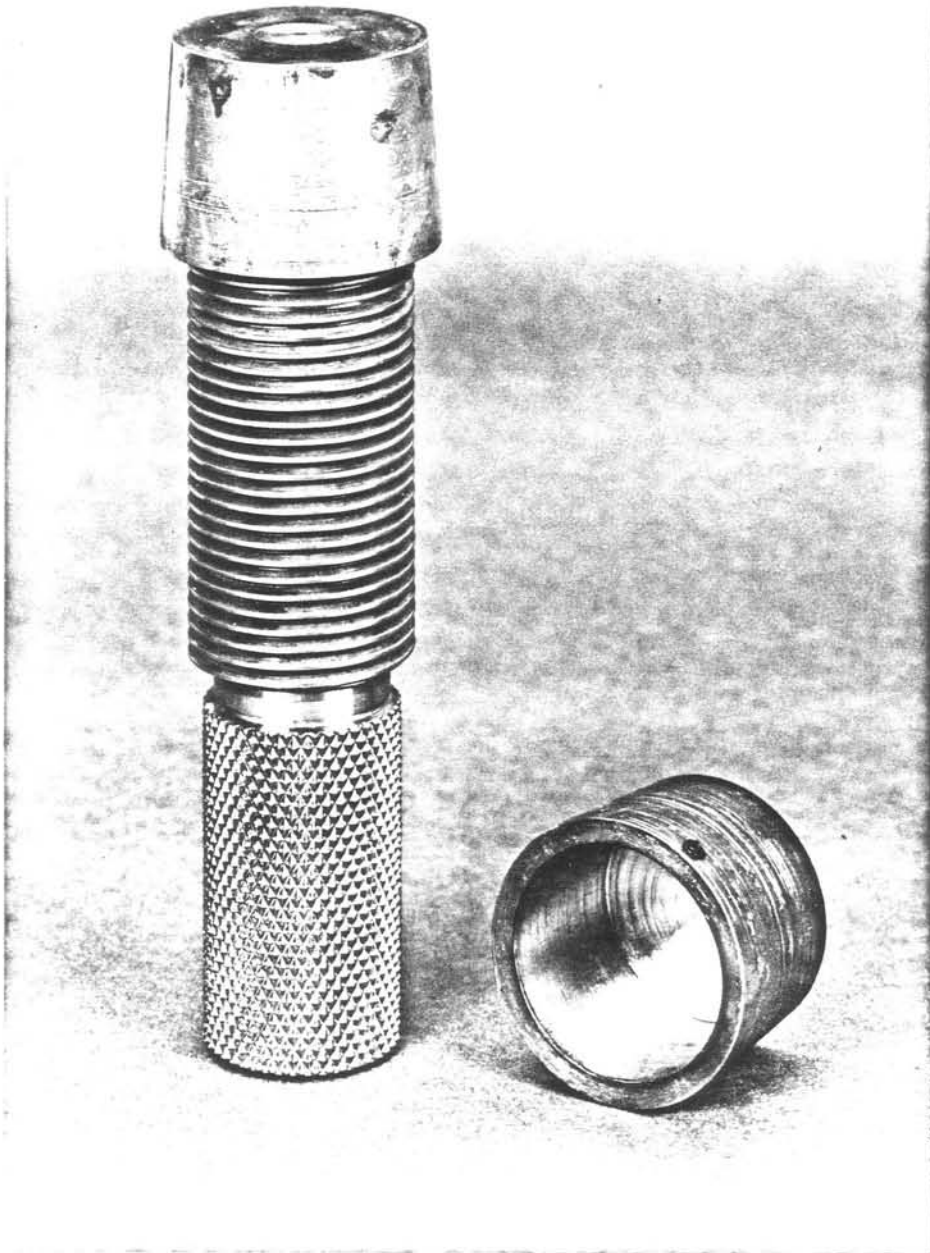


Fig. 3.4 : Die vlekvrre staal voetstuk met koniese voetstukring. 'n Tipiese voetstukring word afsonderlik getoon.

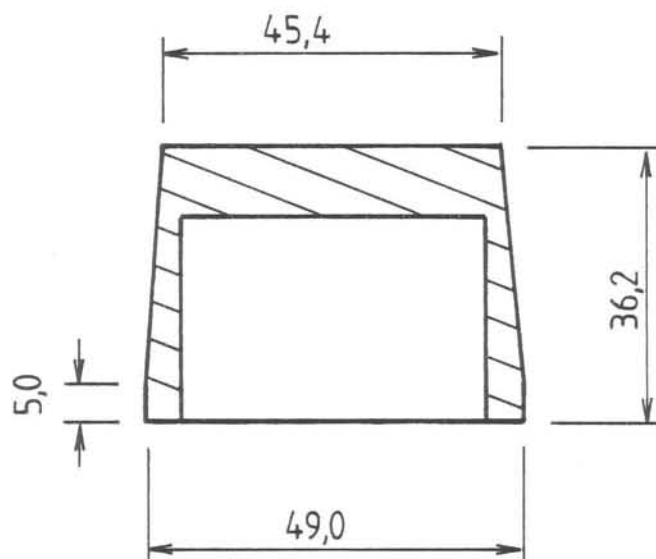
vervaardig uit 'n maklik-masjineerbare tipe keramiek met 'n gemiddelde poriegrootte van 1 mikron. Lug is dus van buite deur die wande van hierdie silinder geborrel om die flodder te belug.

Hoë inspuitsnelhede van tot 12 meter per sekonde kon vir die flodderstroom bereik word. 'n Sterk eroderende werking kon dus teen die binnewande van die poreuse silinder verwag word. Wegslyting van veral die boonste gedeeltes van die silinder kon duidelik waargeneem word. Hierdie effek was so drasties dat spiraalvormige groewe gevorm het wat dus die effektiewe deursnee van die hidrosikloon met tyd vergroot het. Hierdie neiging (alhoewel minder prominent) is verder ook opgemerk by die onderste gedeelte van die silinder, waar die voetstuk die ondervloeiroom teenaan die wande van die silinder gedwing het. Aangesien die annulêre uitlaat 'n kritiese parameter is tydens evaluasie van die luggeborrelde hidrosikloon (soos hier voorgestel), was sodanige beskadiging van die keramiek-oppervlak in hierdie onderste gebied nie aanvaarbaar nie.

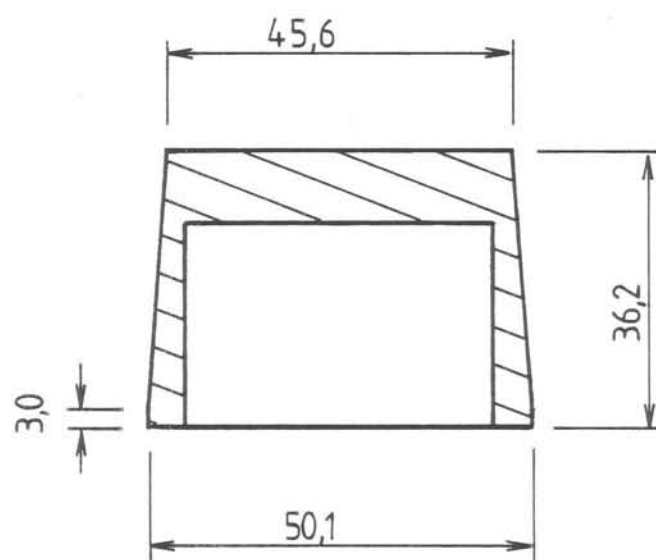
Figuur 3.6 toon dat die boonste en onderste 3 sentimeter-gedeeltes van die silinder deur nie-poreuse, hoëdigtheid poli-etileen vervang is. Beskadiging van dié twee kritiese gebiede is dus uitgeskakel, maar hiervoor moes 15% van die lugtoevoerarea ingeboet word. 'n Paar toetse is met hierdie versterkte silinder gedoen voordat 'n nuwe keramiek-silinder, met dieselfde dimensies as die oorspronklike, vir verdere ondersoek gebruik is.

### 3.2.3 Poli-etileen voetstukontwerp

Koniese voetstukring B (fig. 3.5) is saam met die verkorte silinder (fig. 3.6) gebruik. Tydens die gebruik van die oorspronklike silinder, is lug ook regoor die annulêre gebied (met ander woorde tussen die voetstuk en silinder)



Koniese voetstukring A



Koniese voetstukring B

Fig. 3.5 : Twee voetstukringe met afmetings in mm.  
Skaal - 1:1.

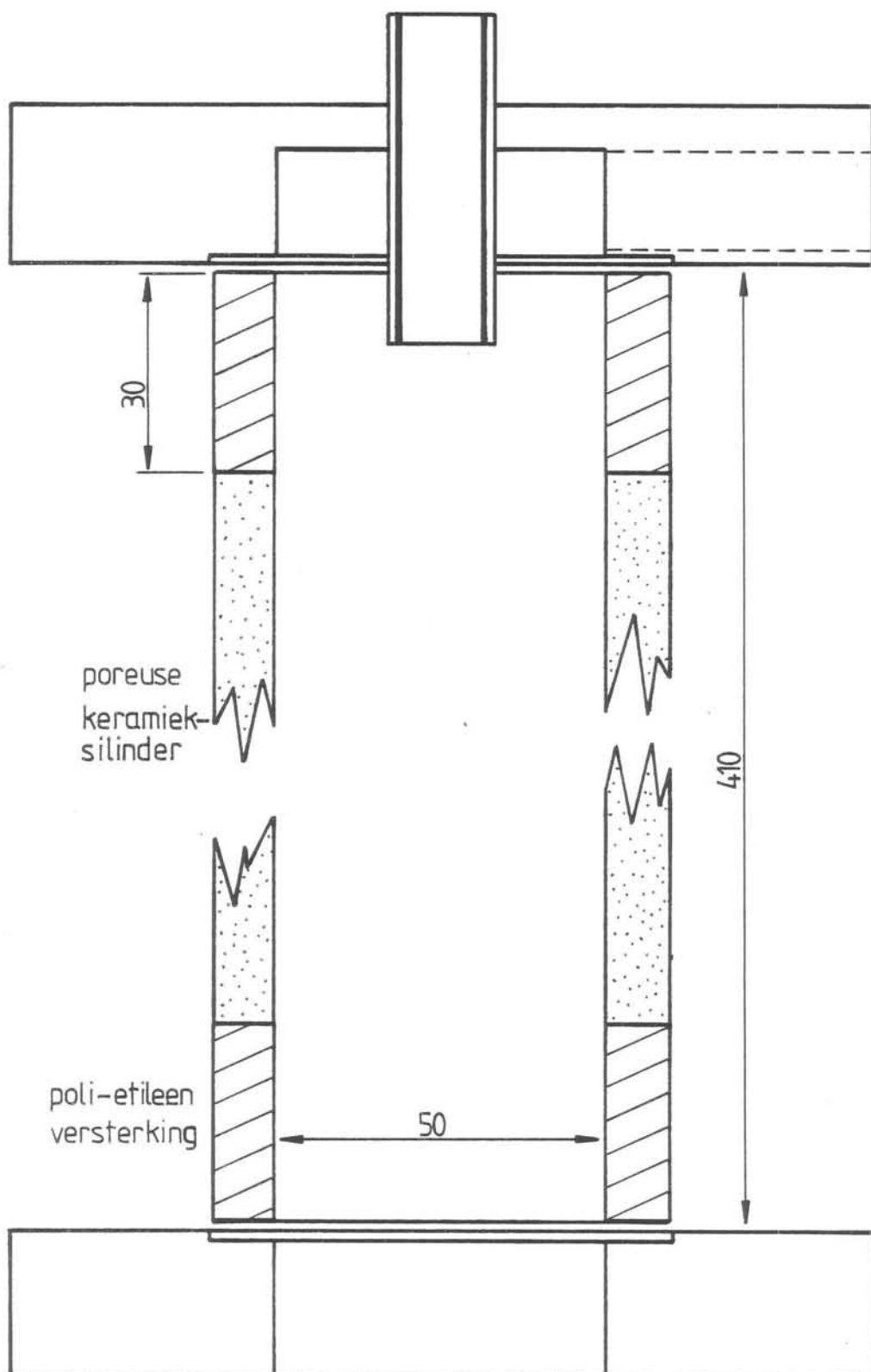


Fig. 3.6 : Voorstelling van die luggeborrelde hidrosikloon om die poli-etileen versterkings by die poreuse silinder te toon. Mates in mm. Skaal - 1:1.

ingeborrel. Dit, sowel as die hoë wandgrofheid van die keramieksilinder, sou 'n hoë mate van turbulensie veroorsaak wat dan die uitvloei van flodder deur die annulus sou strem.

Hoëdigtheid poli-etileen het 'n relatief lae wrywingsfaktor. Die invoeging van die 3 cm-gedeelte aan die onderkant van die silinder sou dus, weens uitskakeling van bogenoemde twee redes, laer turbulensie tot gevolg hê. Minder weerstand is dus gebied teen die uitvloei van flodder, sodat 'n kleiner annulêre opening (1 mm en kleiner) genoodsaak is. Verstopping van die annulus het dus meer gereeld voorgekom en resultate was soms duidelik onrealisties. 'n Beter ontwerp moes vir die ondervloei-uitlaat gesoek word.

Figure 3.7, 3.8 en 3.9 toon 'n voetstukkeenheid wat geheel en al uit hoëdigtheid poli-etileen vervaardig is. Dit is belangrik dat hier gelet moet word op die feit dat 'n mondstuk aan die onderkant van die annulêre opening gebruik is om die flodderuitlaat finaal te reguleer. 'n Groter annulus kon dus toegelaat word, wat die verstopping in 'n groot mate uitgeskakel het. In afdeling 3.2.1 is verduidelik hoedat dieselfde beginsel in die oorspronklike ontwerp <sup>(31)</sup> gebruik is. Die verskil is egter dat die uitlaatopening vir die mondstuk (anders as by die gebruik van omtrekliggende gleuwe) oor 'n klein area versprei was en dus een groot opening toegelaat het wat nie kon verstop nie. Die verdeling van flodder na die bovloei is nou bloot beheer deur 'n kleiner of groter mondstuk te gebruik.

#### 3.2.4 Uitlaat vir die bovloei

Vir meer inligting omtrent dimensies word weer verwys na tabel 3.1. Die lengte van die kolkvinder is vir 'n paar toetse in Afdeling 6.3.3 gevarieer, maar verder is 'n lengte van 50 mm deurgaans gebruik. Geen veranderinge is op enige stadium aan die deursnee gemaak nie. 'n Opening na die atmosfeer is aan die bokant van die kolkvinder toegelaat



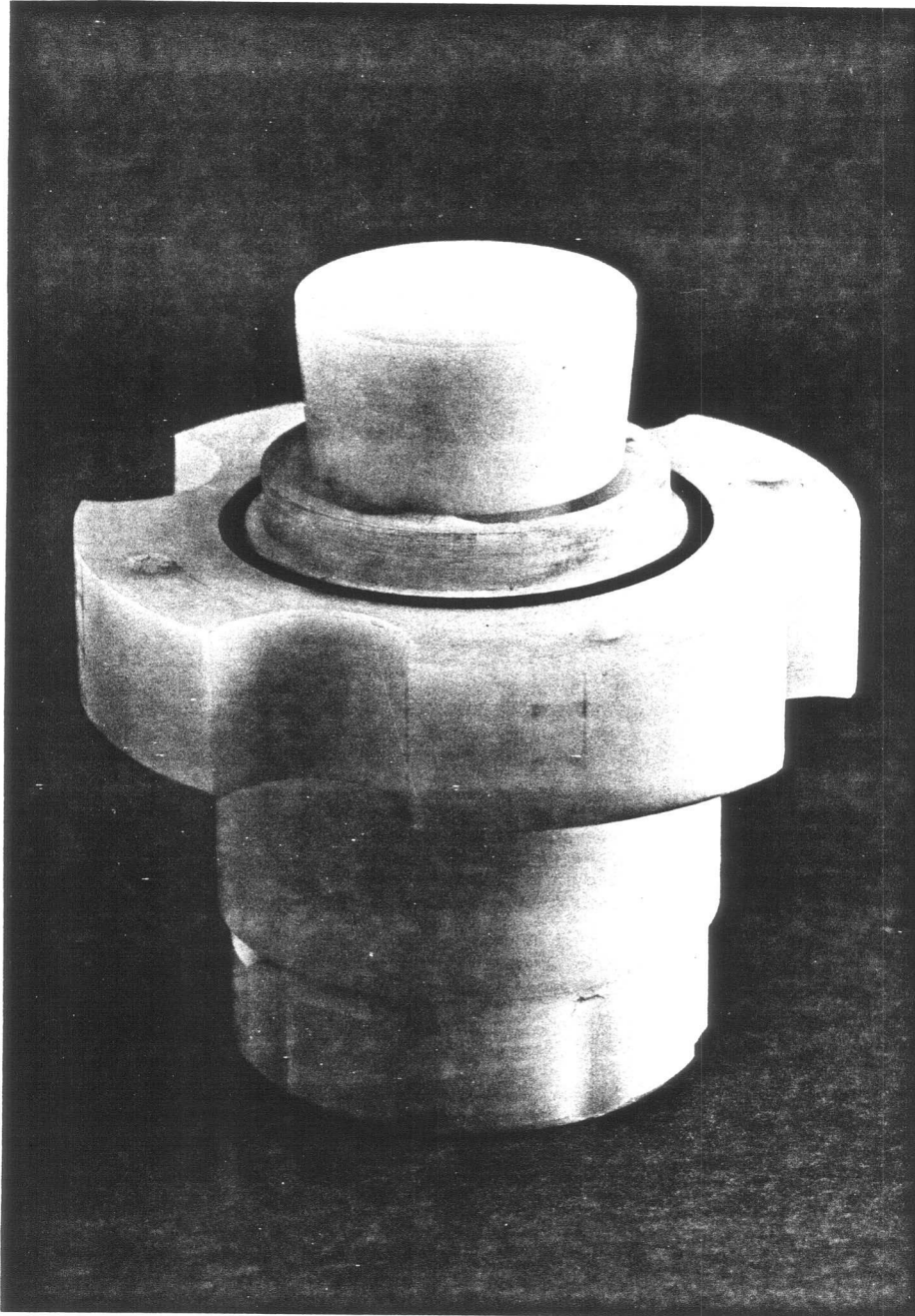


Fig. 3.7 : Die poli-etileen voetstuk-ontwerp.

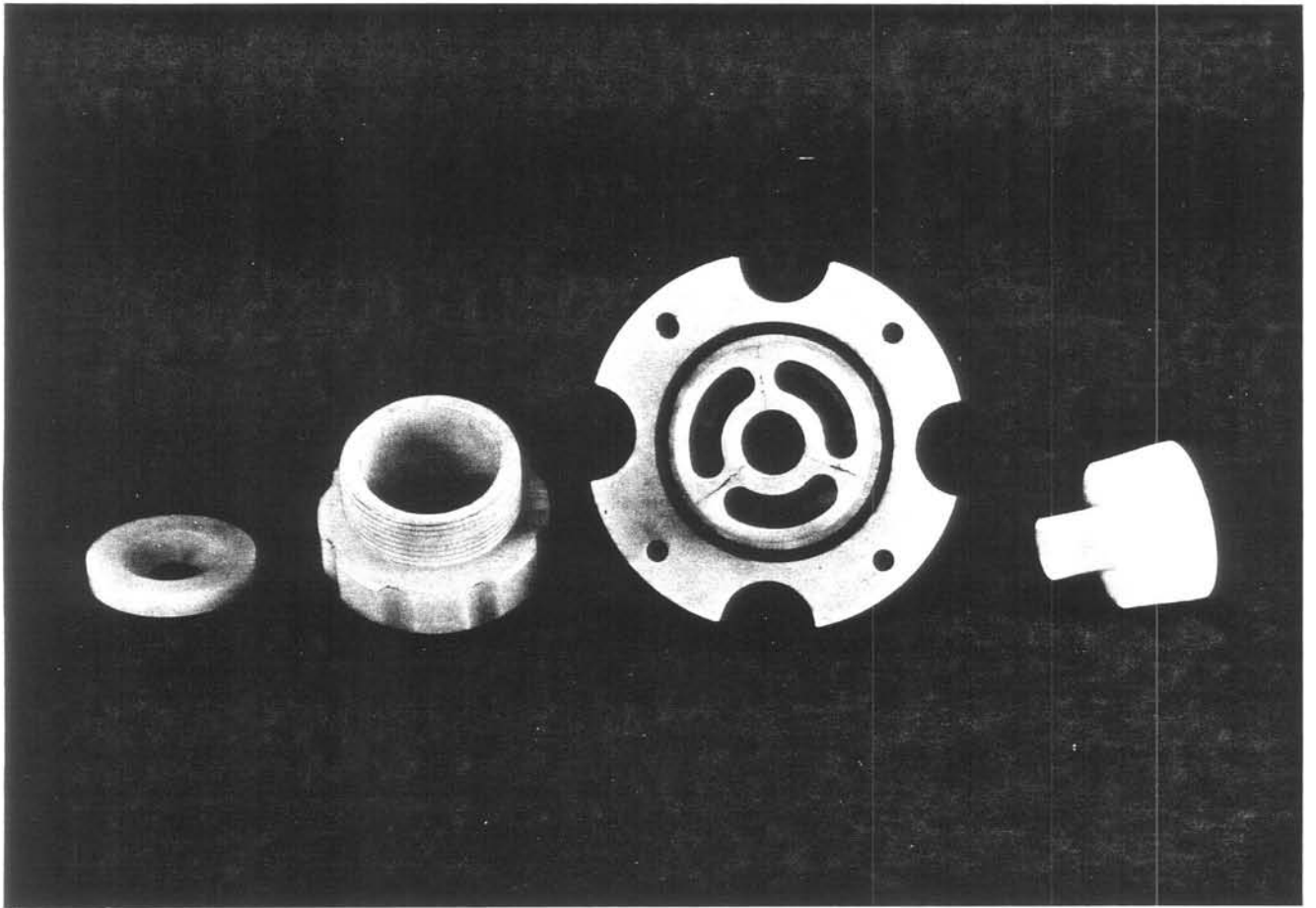


Fig. 3.8 : Verskillende komponente vir die polietileen voetstuk-ontwerp.

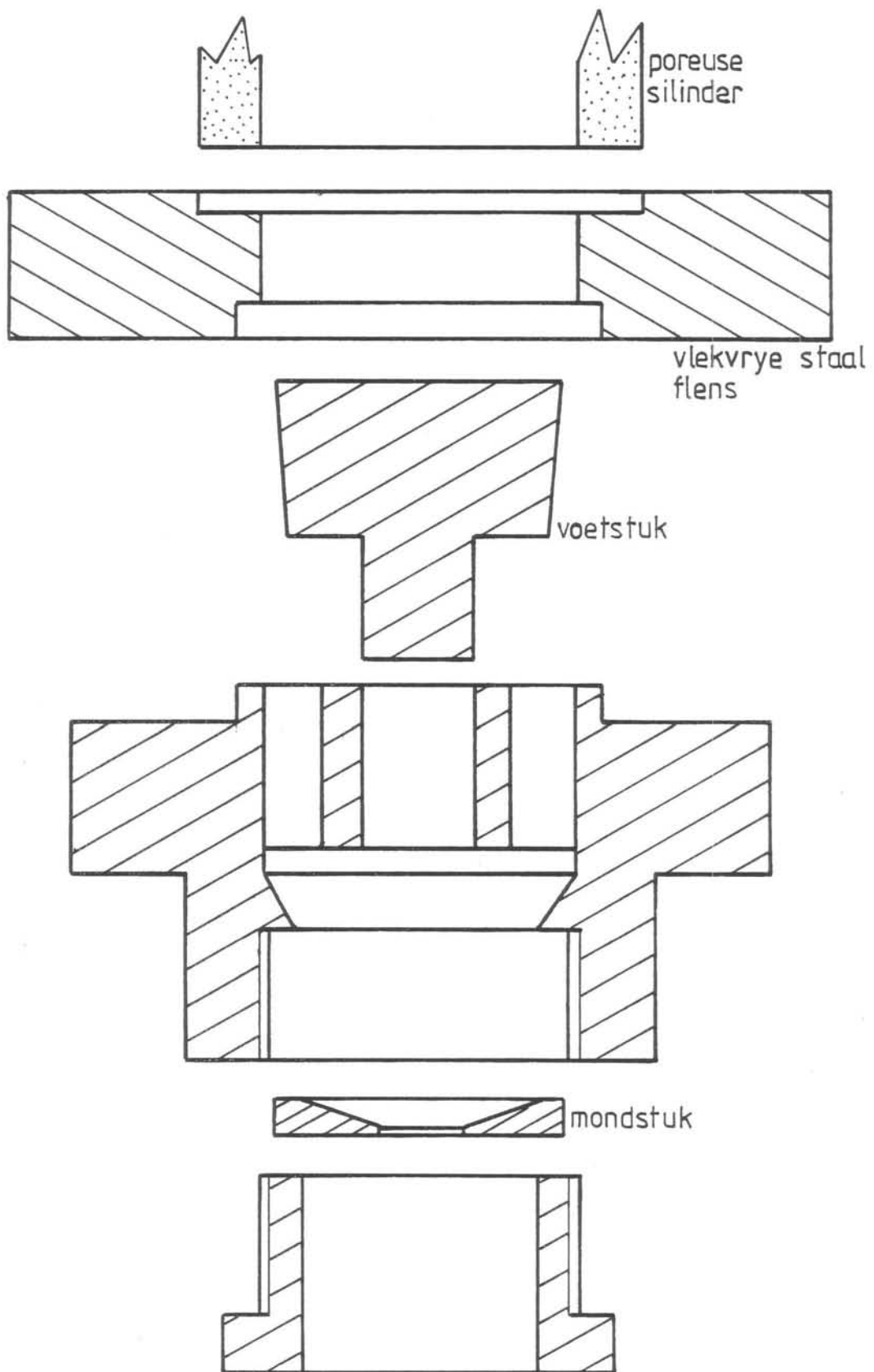


Fig. 3.9 : Ontwerpstekening van poli-etileen voetstuk.  
Skaal - 1:1.

(fig. 3.1) om 'n moontlike heuwelaksie van die flodder na die bovloei te verhoed. Sodanige maatreël het later geblyk onnodig te wees, aangesien 'n positiewe druk te alle tye in die afvoerpyp waargeneem is.

### 3.3 Floddervoorbereiding

#### 3.3.1 Ertseienskappe

'n Maklik-flotteerbare pirieterts vanaf die ERGO-mynhope is gebruik om die werking van die luggeborrelde hidrosikloon te evalueer. Tabel 3.2 en figuur 3.10 verskaf die nodige inligting aangaande die grootteverdelings van hierdie erts. Let daarop dat slegs sowat 8,5% van die partikels fyner as 38 mikron was (35% van die erts gebruik deur Kinneberg en Miller<sup>(1)</sup> was fyner as 38 mikron) en dat 30% in die -212 +150 mikron fraksie voorgekom het. Alle erts was effektief fyner as 300 mikron.

Wat betref die verdeling van swawel tussen die verskillende groottefraksies, word verwys na tabel 3.3. Die laer groottefraksies het 'n hoër swawelinhoud as die growwer fraksies gehad, sodat 58% van die totale pirietpartikels fyner as 106 mikron was. Die gemiddelde swawelinhoud van die erts was ongeveer 1,74%.

'n Piknometer is gebruik om die gemiddelde digtheid van die ertspartikels te meet as  $2747 \text{ kg/m}^3$ . Dit impliseer dus 'n spesifieke digtheid van ongeveer  $1236 \text{ kg/m}^3$  en  $1068 \text{ kg/m}^3$  vir 'n 30 massa % en 10 massa % flodder respektiewelik.

#### 3.3.2 Reagens-byvoeging en kondisionering

Slegs die invloed van kollektor en skuimmiddel is ondersoek. Die pH het altyd 'n waarde getoon tussen 4 en 4,5, wat as 'n

Tabel 3.2: Partikelgrootte-verspreiding van die toevoererts

| Grootte-fraksie (mikron) | Nominale grootte (mikron) | Massa (g) | Massa % | % Onder-grootte | % Bo-grootte |
|--------------------------|---------------------------|-----------|---------|-----------------|--------------|
| +212                     | 212                       | 17,2      | 11,5    | 88,5            | 11,5         |
| -212+150                 | 150                       | 44,7      | 30,0    | 58,5            | 41,5         |
| -150+106                 | 106                       | 33,4      | 22,4    | 36,1            | 63,9         |
| -106+75                  | 75                        | 23,1      | 15,5    | 20,6            | 79,4         |
| -75+53                   | 53                        | 13,8      | 9,3     | 11,3            | 88,7         |
| -53+38                   | 38                        | 4,2       | 2,8     | 8,5             | 91,5         |
| -38                      |                           | 12,6      | 8,5     |                 |              |
|                          |                           | 149,0     | 100,0   |                 |              |

Tabel 3.3: Swawelinhoud van die verskillende groottefraksies in die toevoererts

| Grootte-fraksie (mikron) | Swawel-inhoud (%) | % Swawel in totale ertsmassa | Massa % van totale swawel hoeveelheid |
|--------------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| +212                     | 0,322             | 0,037                        | 2,13                                  |
| -212+150                 | 0,748             | 0,225                        | 13,0                                  |
| -150+106                 | 2,08              | 0,466                        | 26,9                                  |
| -106+75                  | 2,70              | 0,419                        | 24,2                                  |
| -75+53                   | 3,14              | 0,292                        | 16,8                                  |
| -53+38                   | 3,61              | 0,101                        | 5,82                                  |
| -38                      | 2,29              | 0,195                        | 11,2                                  |
|                          |                   | 1,74                         | 100,0                                 |

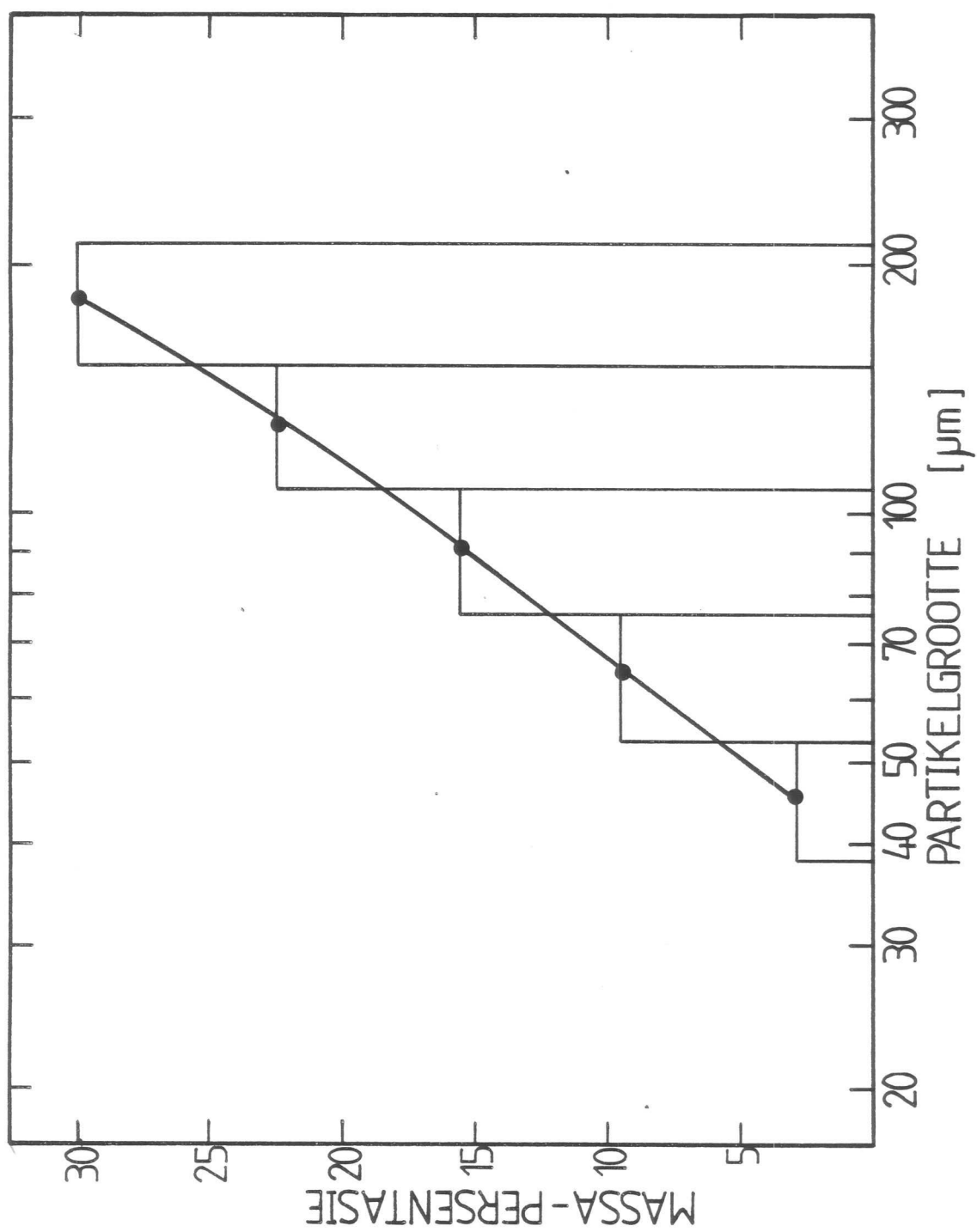


Fig. 3.10: Partikelgrootte-verspreiding van pirieterts.

effektiewe gebied (kleiner as 5,5) vir die flottasie van piriet beskou word<sup>(18)</sup>.

DOWFROTH 250 - 'n polipropileen-glikol-metieleter<sup>(15)</sup> is as skuimmiddel gebruik. Byvoeging is gedoen in verhouding tot totale floddervolume en word aangegee in milligram per liter flodder. Kollektor (kalium-amiel-xantaat) is te alle tye bygevoeg relatief tot die massa droë erts in die flodder en word in eenhede van gram per ton erts (of dele per miljoen) gedefinieer. Indien skuimmiddel bygevoeg sou word in verhouding tot die massa droë erts, sou die skuimmiddelinhoud van 'n flodder met 10 massa % vastestof in werklikheid heelwat kleiner wees as vir 'n flodder met 30 massa % vastestof. Om dieselfde rede het Kinneberg en Miller<sup>(1)</sup> dan ook skuimmiddelbyvoegings gedoen m.b.t. die totale volume flodder. Skuimmiddelkonsentrasie word in alle verdere besprekings spesifiek aangegee in mg/l om min of meer te vergelyk met die grootheid "dele per miljoen".

Vir elke eksperimentele lopie is vars oplossings van beide skuimmiddel en kollektor gebruik. 'n Kondisioneringsperiode van 10 minute is toegelaat na byvoeging van chemikalieë. 'n Vastestofinhoud van 10 massa % is vir die meeste flodders gebruik. Dit word spesifiek in verdere besprekings genoem indien 30 en 45 massa % flodders gebruik is.

### 3.4 Monsterneming en naverwerking

#### 3.4.1 Monsterneming tydens eksperimentele lopie

Met een tenk flodder kon ses tot sewe toetse gedoen word. Die laaste 100 liter in die tenk kon nooit gebruik word nie aangesien lug deur die stuwer ingesuiig is by 'n te lae vloeistofvlak. Ongeveer tien minute het verloop tussen die eerste en die laaste toets, met die gevolg dat die flodder-monster wat vir die laaste toets gebruik is, effektief aan 'n langer kondisioneringstyd onderworpe was. Alle lopies

se toetse is dus gedoen in volgorde van hoë na lae vloeitempo. Sodoende is verseker dat alle toetse wat by 'n spesifieke vloeitempo gedoen is, min of meer ná dieselfde kondisioneringstyd uitgevoer is. (Sien ook Bylaag A; figure A.7 en A.8)

Monsterneming vir die verskillende toetse is dus so vinnig as moontlik na mekaar gedoen terwyl die hersirkulasiestroom te alle tye heeltemal oop was. Afhangende van die flodder-toevoertempo wat gekies is, het die tyd van monsterneming (per toets) gewissel van 15 tot 80 sekondes. Dit het gewoonlik 'n ondervloei-monstergrootte van ongeveer 16 liter gelever.

Monsterneming is met die hand gedoen nadat die vloeitempo-lesing van die vloeimeter gestabiliseer het. Weens die hoë dinamika van hierdie flottasiemetode was slegs 'n paar sekondes nodig om gestadigde bedryfstoestande te bereik. Bo- en ondervloei-monsters is tegelykertyd geneem en die tyd van monsterneming is met 'n stophorlosie bepaal. Die werklike toevoertempo is dan later uit 'n massabalans bereken (Bylaag C) en vergelyk met die lesing geregistreer deur die magnetiese vloeimeter. Die gemete en berekende vloeisnelhede het selde meer as 5 % van mekaar verskil.

#### 3.4.2 Naverwerking

Elke bo- en ondervloei-monster is na afloop van die eksperimentele lopiese geweeë en gefiltreer. Die ertsmonsters is hierna by 'n temperatuur van 80 °C (nooit hoër nie) gedroog.

Segregasie van verskillende partikelgroottes vind tydens filtrasie plaas. Nadat die gedroogde ertsmonsters weer geweeë is, was dit noodsaaklik om deeglike monster-voorbereidings vir verdere sif- en swawelanalises te doen. Dit het 'n meng- en fynmaakproses behels wat met die hand



gedoen is om sodoende 'n homogene verspreiding van partikels te verseker. Ewekansige monsterneming (8 tot 9 punte) is nou op hierdie oorspronklike monster uitgevoer vir verdere analises.

Voordat swawelanalises gedoen kon word, moes die monsters verpoeier word. Die hoeveelheid erts wat hiervoor gebruik is, het natuurlik afgehang van die grootte van die oorspronklike monster. By groot ondervloeiemonsters is tussen 200 en 300 gram verpoeier, terwyl so min as 15 gram by klein bovloeiemonsters gebruik is. Verpoeieringstyd was ongeveer 1 minuut in 'n Siebtechnik ringmeul.

### 3.5 Sif- en swawelanalises

#### 3.5.1 Sifanalises

Om die effektiwiteit van flottasie vir die pirietpartikels in die verskillende groottefraksies te bepaal, was dit nodig om sifanalises op die bo- en ondervloeiemonsters te doen. 'n Sifreeks waarvan die opeenvolgende groottes met 'n  $(2)^{0,5}$  - waarde verskil het<sup>(38)</sup> en wat die groottegebied tussen 38 en 212 mikron ingesluit het, is hiervoor gebruik.

Aangesien slegs 8% van die erts fyner as 38 mikron was, het té klein volumes van hierdie groottefraksie verdere partikelgrootte-analises bemoeilik. Verdelings in die -38 mikron gebied is dus nie bepaal nie.

'n Nat sifproses is uitgevoer om die +38 en -38 mikron fraksies te skei: eerstens omdat sodanige metode meer akkuraat is indien fyn partikels gesif moet word en tweedens omdat die -38 mikron partikels neig om klonte te vorm tydens die voorafgaande filtrasie- en droogproses. 'n Verdere standaard sifanalise (droog) is hierna op die +38 mikron fraksie uitgevoer. 'n Siftyd van 20 minute is gebruik.

### 3.5.2 Swawelanalises <sup>(37)</sup>

'n Standaard en betroubare metode vir die bepaling van die swawelinhoud in ertsmonsters is verbranding by hoë temperature met die daaropvolgende analisering van die verbrandingsgasse. 'n LECO hoë-frekwensie induksie-oond is hiervoor gebruik.

Verbranding van die ertsmonster vind plaas by 'n temperatuur van ongeveer 1300 °C, terwyl suurstof teen 'n kontinue tempo van 0,4 liter per minuut toegevoer word. Die verbrandings-reaksie word verder versnel deur 'n  $V_2O_5$ -tablet saam met die monster te verbrand.  $SO_2$  en  $SO_3$  (as verbrandings-produkte) word met die suurstofstroom meegevoer na die titrasie-apparaat waar die  $SO_2$  teenoor  $KIO_3$  getitreer word.

Aangesien hierdie titrasiemetode slegs op  $SO_2$  reageer, sou die ideaal wees om geen  $SO_3$  as verbrandingsproduk te hê nie.  $SO_3$  het verder 'n neiging om soms in die toevoerpypie na die titreerfles te kondenseer. Die  $SO_2/SO_3$ -ewewig is afhanklik van verskeie faktore (soos bv. verbrandingstemperatuur en suurstoftoevoer), maar normaalweg word ongeveer 90% van die swawel verbrand tot  $SO_2$ . Om dus die werklike swawelinhoud van die erts te bepaal, word standaard-monsters met 'n bekende swawelinhoud geanaliseer om sodoende 'n korreksiefaktor (wat eie is aan die spesifieke LECO-apparaat met bedryfparameters) te bereken. Die persentasie swawel in 'n ertsmonster, wat bereken is deur slegs die  $SO_2$  te analiseer, word dus met hierdie faktor vermenigvuldig om die totale swawelinhoud te verkry. Verdere inligting word in Bylaag B verskaf waaruit dit ook duidelik blyk dat hierdie analise-metode wel akkuraat is. 'n Fout van groter as 3 % word selde gemaak indien die analise deur 'n ervare persoon en volgens die korrekte prosedure uitgevoer word.

### 3.6 Enkelladingflottasies

Om 'n vergelyk te tref tussen 'n konvensionele flottasie-metode en flottasie in die luggeborrelde hidrosikloon, is 'n aantal enkelladingflottasies in 'n BARKERSEL deurgevoer.

Wat betref chemikalie-byvoeging en kondisionering is presies dieselfde prosedure gevolg soos vir die hidrosikloon-flottasies beskryf is. Verdere inligting omtrent bedryfs-veranderlikes word in tabel 3.4 gegee en tipiese resultate word in Bylaag C aangebied.

Tabel 3.4: Bedryfsveranderlikes vir enkelladingflottasies

|                                   |          |                         |
|-----------------------------------|----------|-------------------------|
| % Vastestof in flodder            | (kg/kg)  | 30                      |
| Totale floddervolume              | (liter)  | 3,0                     |
| Skuimhoogte                       | (cm)     | 2,4                     |
| Skuimmiddelkonsentrasie           | (mg/l)   | 50                      |
| Omwentelingspoed van stuwer       | (r.p.m)  | 1500                    |
| Watertoevoer vir skuimdreinerings | (l/min.) | 0,03                    |
| Kollektorkonsentrasie             | (g/ton)  | 20 tot 110              |
| Lugtoevoer                        | (l/min)  | 6 tot 7                 |
| pH                                | -        | 4,5                     |
| Kumulatiewe tyd van monsterneming | (s)      | 20; 40; 80;<br>160; 320 |

#### 4. ALGEMENE KLASSIFIKASIE VAN PARTIKELS EN WATERVERDELINGS IN DIE LUGGEBORRELDE HIDROSIKLOON

##### 4.1 Vloeiverdeling van suiwer water

##### 4.1.1 Invloed van lugtoevoertempo

Die inwaartse vloei van lugborrels beïnvloed die algemene tendense waarvolgens water tussen die bo- en ondervloeistrome verdeel. Anders as by die konvensionele hidrosikloon is die verdeling dus nie slegs afhanklik van die uitlaatveranderlikes en die floddertoevoertempo nie.

Om 'n aanduiding te kry van sodanige neigings in die drie-fase sisteem (erts, water, lug), is dit voor-die-hand-liggend om eerstens die twee-fase sisteem (water, lug) te beskou. Met die uitsondering van toetse waarvan die resultate in figuur 4.7 getoon word, is geen skuimmiddel bygevoeg nie. Suiwer water is gebruik.

Indien geen beperking op die ondervloei-uitlaat geplaas word nie, is dit logies dat geen water die hidrosikloon deur die kolkvinder sal verlaat nie. Dit volg nou dat die mate waarin hierdie ondervloei-stroom gesmoor word, sowel as die metode waarvolgens dit gedoen word, 'n groot rol te speel het ten opsigte van die verdeling. Die invloed van lugtoevoer word derhalwe geïllustreer aan die hand van toetse wat met verskillende voetstuk-konfigurasies gedoen is.

'n Hoër toevoertempo van water impliseer 'n hoër uitwaartse sentrifugale krag wat meer water na die annulêre opening (by voetstuk) behoort te dwing, maar weens die beperkte kapasiteit van die hidrosikloon verdeel 'n groter persentasie van die water na die bovloei. Indien lug nou deur die hidrosikloonwande geblaas word, sal die effektiewe uitwaartse sentrifugale krag nog verder verlaag word deur

die inwaartse sleepkrag van die lugborrels en ook weens die feit dat meer turbulente stroming ontstaan wat 'n verlaging in die tangensiale snelheid tot gevolg kan hê.

Figure 4.1 tot 4.4 illustreer tipiese tendense wat waargeneem is by verskillende lugtoevoertempo's. Ignoreer voorlopig die invloed van ander bedryfs- en ontwerpsveranderlikes. Die toetse soos getoon in figuur 4.1, is gedoen met 'n silindriese voetstukring wat die hidrosikloon 38 mm diep binnedring. 'n Duidelike toename in waterherwinning (% water na bovloei) word veral by die laer watertoevoertempo's waargeneem indien die lugtoevoer verhoog word. Presies dieselfde neiging word ook in figuur 4.2 (koniese voetstukring A;  $\phi = 48$  mm), figuur 4.3 (koniese voetstukring A;  $\phi = 47,5$  mm) en figuur 4.4 (poli-etileen voetstuk met mondstuk) geïllustreer, afgesien van die feit dat die verloop van die kurwes verskil weens gebruik van verskillende voetstukontwerpe.

Vanaf hierdie figure kan 'n paar algemene neigings waargeneem word:

- 'n Minimum herwinning van water kom voor in die intermediêre watertoevoer-gebied.
- Hierdie minimum-punt neig om na 'n effens hoër watertoevoer te skuif indien die lugtoevoer verhoog word.

Om bostaande te verklaar, moet die totale volumetriese toevoer (lug en water), die sentrifugale krag van die water en die inwaartse sleepkrag van die lugborrels in ag geneem word. By een spesifieke watertoevoertempo sal 'n verhoogde totale volumetriese toevoer na die hidrosikloon (tydens 'n toename in lugtoevoer) die uitvloei tempo deur die kolkvinder verhoog. Dit kan verwag word dat die grootste persentasie van hierdie toename sal wees as gevolg van lug wat, weens 'n heelwat laer digtheid as dié van water, die hidrosikloon

verkieslik deur die kolkvinder sal verlaat. Aangesien hierdie lug egter deur die kolkende waterlaag geborrel word, sal water meegesleur word na die bovloei.

Daar is reeds verduidelik dat 'n hoër lugtoevoer die sentrifugale krag behoort te verlaag. Vir watertoevoertempo's laer as ongeveer 20 l/min is die sentrifugale kragte heel moontlik so swak dat water maklik deur die lug meegesleur kan word om dan in die bovloei te verskyn. Dus word hoë waterherwinnings in die gebied tussen 10 en 20 l/min verkry en veroorsaak 'n verhoging in die belugtings-tempo 'n groot toename in die meesleuring van die water.

Soos die watertoevoertempo verhoog word, begin die sentrifugale kragte die sleepkragte oorheers, sodat 'n afname in die waterherwinning waargeneem word by alle lugtoevoertempo's gegee in figure 4.1 tot 4.4. Hierdie waterherwinning word 'n minimum, moontlik wanneer die sleep- en sentrifugale kragte mekaar balanseer. By hoër lugvloei tempo's sal 'n hoër watertoevoertempo benodig word om die hoër inwaartse sleepkrag te balanseer, sodat die punt van minimum waterherwinning na regs skuif op figure 4.1 tot 4.4. Indien die watertoevoer verder verhoog word, sal die beperking van die annulêre opening by die voetstuk al hoe 'n groter fraksie van die water na die oorvloei dwing.

#### 4.1.2 Invloed van ontwerpveranderlikes

Hier word verwys na figure 4.1 tot 4.7.

Die verduideliking in seksie 4.1.1 het klem gelê op die invloed van die lugborrels se sleepkrag op die water, maar kon nie die verskil tussen kurwes waarvoor dieselfde lugtoevoer gebruik is (maar verskillende voetstukontwerpe, ens.), verklaar nie.

Uit figuur 4.1 is dit duidelik dat 'n dieper indringing van die kolkvinder in die hidrosikloon 'n effens hoër herwinning van water tot gevolg het. 'n Progressiewe afname in die tangensiale snelheid van die water soos met die hidrosikloon afbeweeg word, kan gedeeltelik hiervoor verantwoordelik wees aangesien die sentrifugale krag dan laer word en meesleuring deur die lug verhoog word.

Die verskil tussen figure 4.2 en 4.3 illustreer die invloed van die annulêre opening tydens gebruik van koniese voetstukring A. Deurgaans laer herwinnings is verkry met 'n groter annulêre opening. Dit is dus duidelik dat nie net sentrifugale krag nie, maar ook die kapasiteit van die hidrosikloon 'n rol speel. 'n Groter annulêre opening laat blykbaar 'n hoër watertoevoer toe voordat herwinning slegs van lugtoevoer afhanklik word. In figuur 4.3, by 'n lugtoevoer van 50 l/min, laat 'n watertoevoer van 40 l/min reeds feitlik geen water na die bovloei beweeg nie.

Figure 4.4 tot 4.6 toon dat beide die positiewe en negatiewe hellings van hierdie kurwes 'n steiler verloop het as wat die geval by figure 4.1 tot 4.3 was. Let op dat 'n nuwe keramieksilinder (deursnee = 49,7 mm) vir die doel van figure 4.4 en 4.5 gebruik is en dat die voetstukdeursnee 46,5 mm was. Vir die toetse in figuur 4.6 is 'n voetstukdeursnee van 48,2 mm saam met die versterkte keramieksilinder (fig. 3.6), wat 'n deursnee van 51,1 mm gehad het, gebruik.

Figuur 4.4 illustreer duidelik dat lugtoevoer 'n groter rol speel by watertoevoertempo's links van die minimum-herwinningspunt, aangesien herwinning basies dieselfde was vir watertoevoertempo's hoër as 35 liter per minuut (ongeveer die lugtoevoertempo).

Van figure 4.5 en 4.6 kan gesien word dat waterherwinning baie beïnvloed word deur die mondstukopening (en dus die



uitlaat-beperking van die voetstuk), veral vir watertoevoertempo's hoër as 30 liter per minuut.

Opsommenderwys kan gesê word dat die massa-oordragsproses na die bovloei veral deur twee veranderlikes, nl. lugtoevoer en voetstukopening, beheer word en dat twee watertoevoergebiede geïdentifiseer kan word. By lae watertoevoertempo's oorheers die invloed van lugtoevoer, terwyl die voetstukkonfigurasie die bepalende veranderlike is by hoë watervoertempo's.

Indien skuimmiddel by die water gevoeg word, verander die fisiese eienskappe (soos oppervlaktespanning en viskositeit) wat dan duidelik die verloop van die herwinningskurwe beïnvloed (fig. 4.7). Hier kan ook gesien word dat die verlaging van die voetstukdiepte duidelik die herwinning van water verlaag. 'n Silindriese voetstukring van 47,4 mm deursnee is gebruik, sodat die effektiewe deursnee presies dieselfde gebly het tydens verstelling. Dit volg dus dat slegs die verlaging in totale wrywing (tydens vloei deur die annulus) hierdie laer herwinning tot gevolg het.

Presies dieselfde ontwerp is vir toetse in figuur 4.1 en figuur 4.7 gebruik. Dit blyk dus dat skuimmiddelbyvoeging (soos verwag) die invloed van lugtoevoer versterk, aangesien die punt van minimum herwinning by 'n hoër watertoevoer van 40 liter per minuut voorkom.

#### 4.2 Klassifikasie van pirieterts

Tipiese gedrag van ertspartikels in die luggeborrelde hidrosikloon word geïllustreer in figure 4.8 tot 4.10. Alhoewel twee verskillende voetstukontwerpe gebruik is (koniese voetstuk A by fig. 4.8 en poli-etileen voetstuk met mondstuk by fig. 4.9), word dieselfde tendense vir beide eksperimente waargeneem. Geen skuimmiddel of kollektor is by die flodder gevoeg nie.



Met 'n vastestofinhoud van 10 massa % in die flodder, word slegs een persent van die vastestof herwin in die bovloei indien toevoertempo's hoër as 35 liter per minuut gebruik word. Vanaf figuur 4.10 is dit duidelik dat slegs partikels fyner as ongeveer 45 mikron noemenswaardig deelneem aan hierdie verdelingsproses by hoër toevoertempo's. Die sentrifugale krag op sulke fyn partikels is te swak om almal na die ondervloei te dwing.

Vir floddertoevoertempo's links van die minimum waterherwinningspunt op figuur 4.9, word groter partikels meer geredelik herwin. Die sentrifugale krag op partikels growwer as 45 mikron raak dan te swak om alles na die ondervloei te dwing, soos ook blyk vanaf figuur 4.10..

Die primêre doel waarvoor hierdie luggeborrelde hidrosikloon gebruik word, is om hidrofobiese partikels van hidrofiliese partikels te skei, ongeag hul groottes. Daar kan dus geredeneer word dat floddertoevoertempo's wat hoog genoeg is, gebruik moet word om te verhoed dat kleiner hidrofiliese partikels bloot as gevolg van klassifikasie in die bovloeistroom beland.

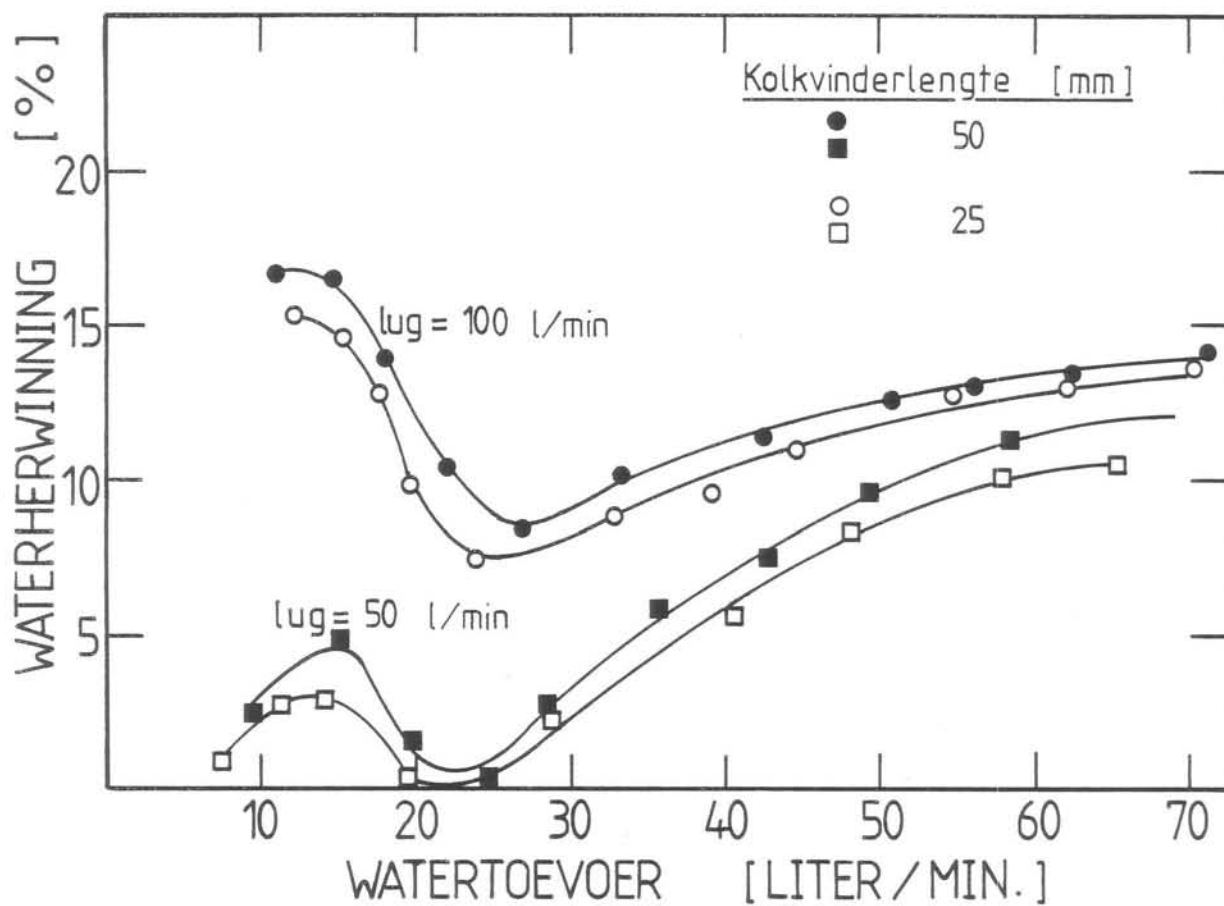


Fig. 4.1 : Herwinning van water in die bovloei by twee kolkvinder-dieptes. Silindriese voetstuk-ring;  $\Phi = 47,4 \text{ mm}$ , diepte = 38 mm.

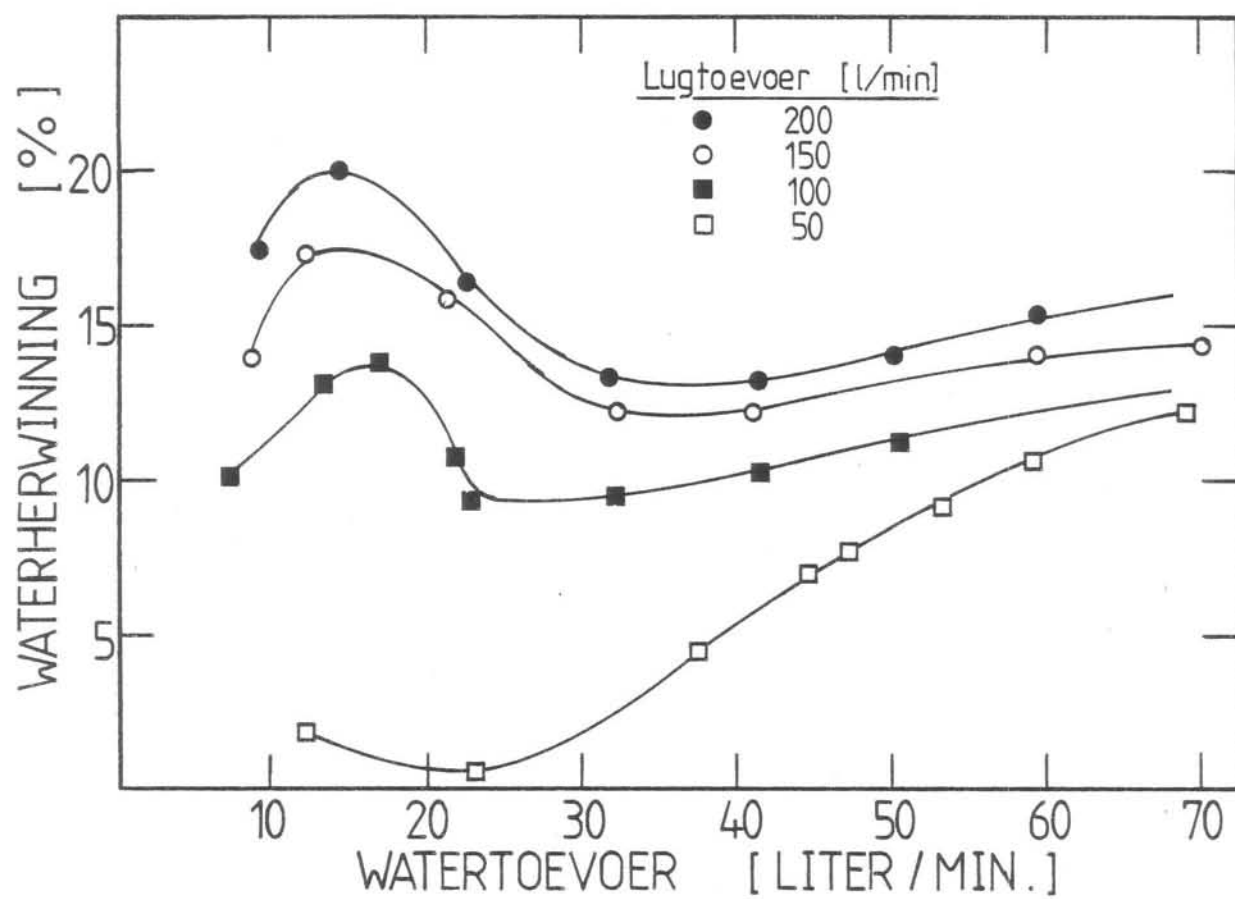


Fig. 4.2 : Herwinning van water in die bovloei by verskillende lugtoevoertempo's. Koniese voetstukring (A);  $\phi = 48,0$  mm, diepte = 24,25 mm.

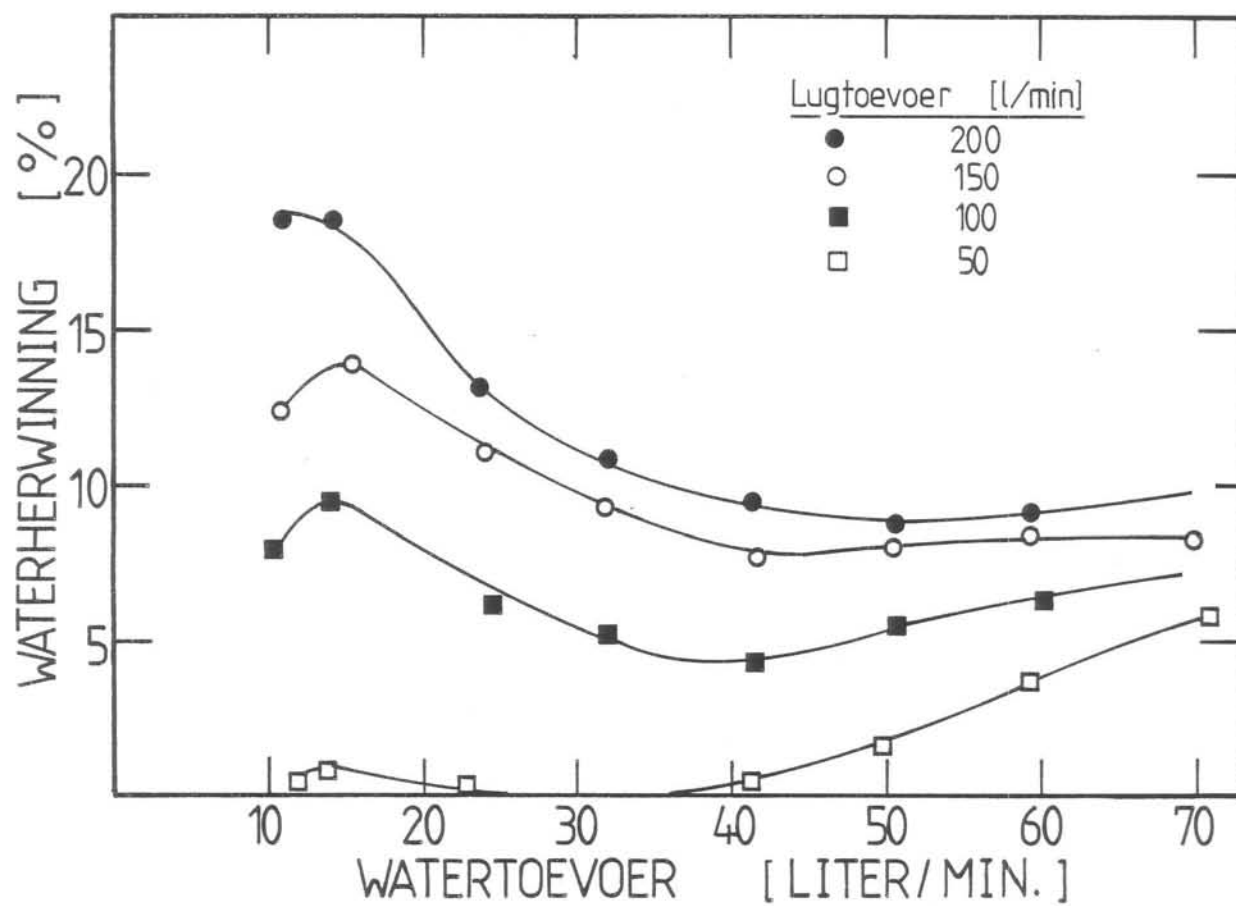


Fig. 4.3 : Herwinning van water in die bovloei by verskillende lugtoevoertempo's. Koniese voetstukring (A);  $\phi = 47,5$  mm, diepte = 20,37 mm.

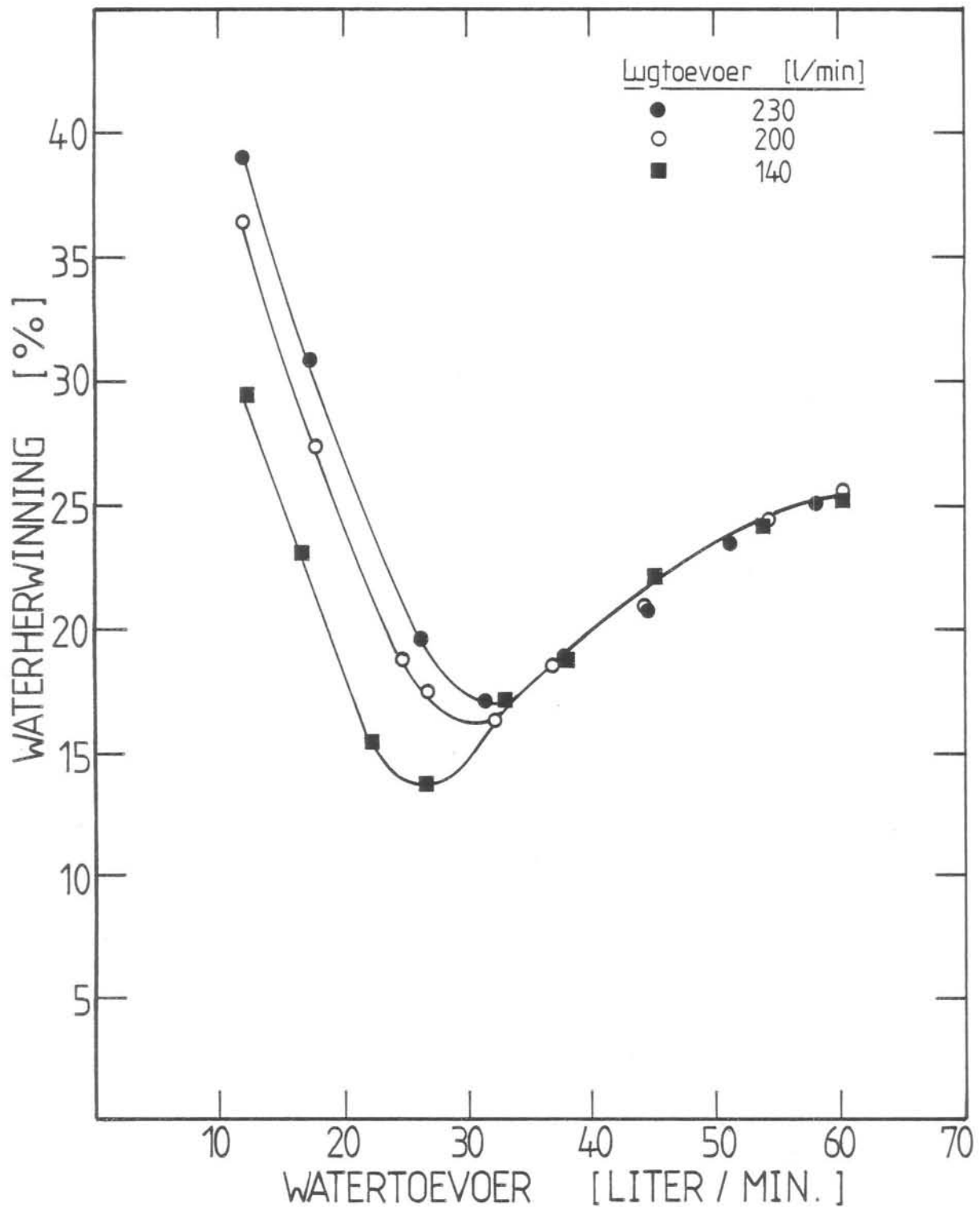


Fig. 4.4 : Herwinning van water in die bovloei by verskillende lugtoevoertempo's. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

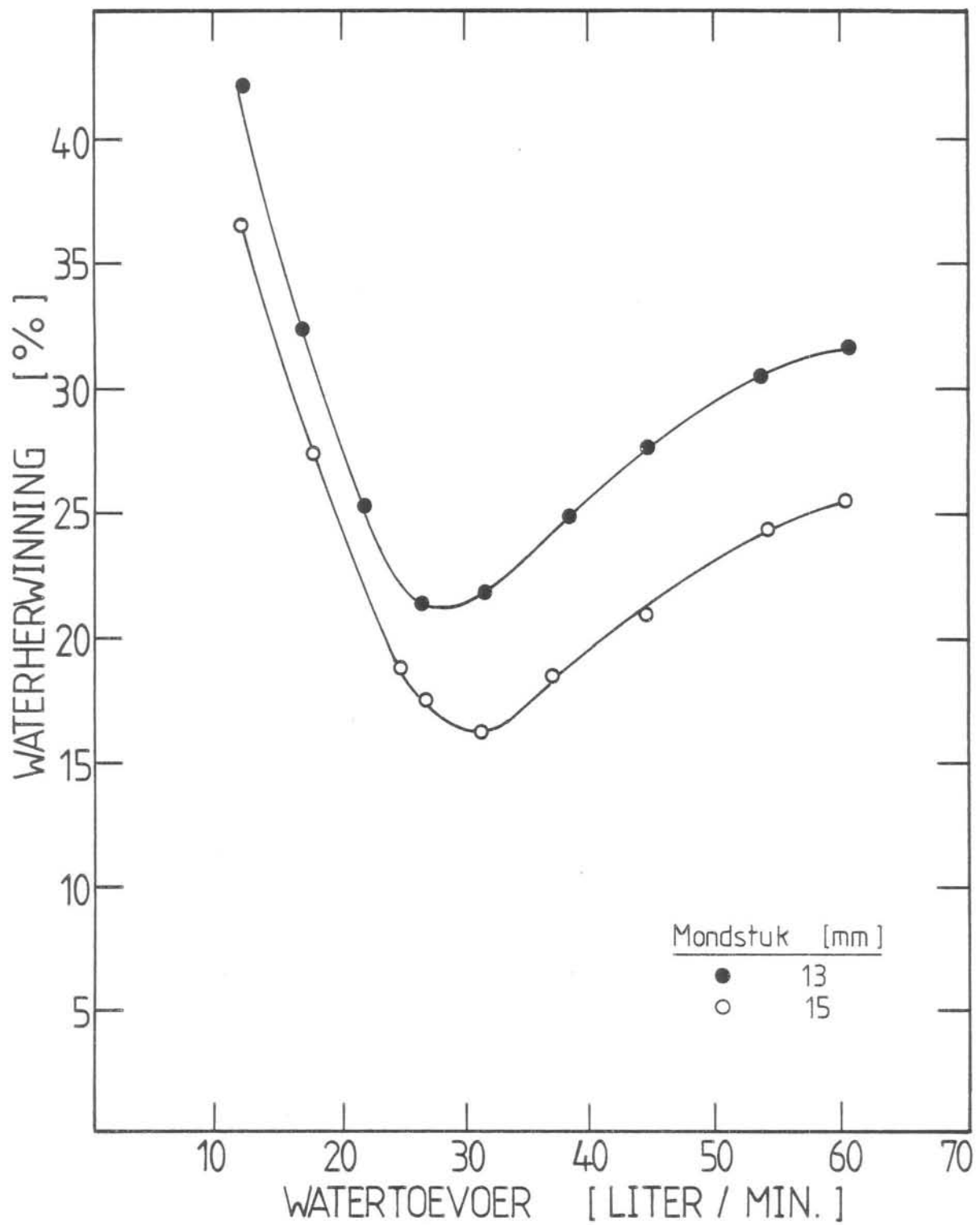


Fig. 4.5 : Herwinning van water in die bovloei met gebruik van poli-etileen voetstuk en twee mondstukke. Lugtoevoer = 200 l/min.

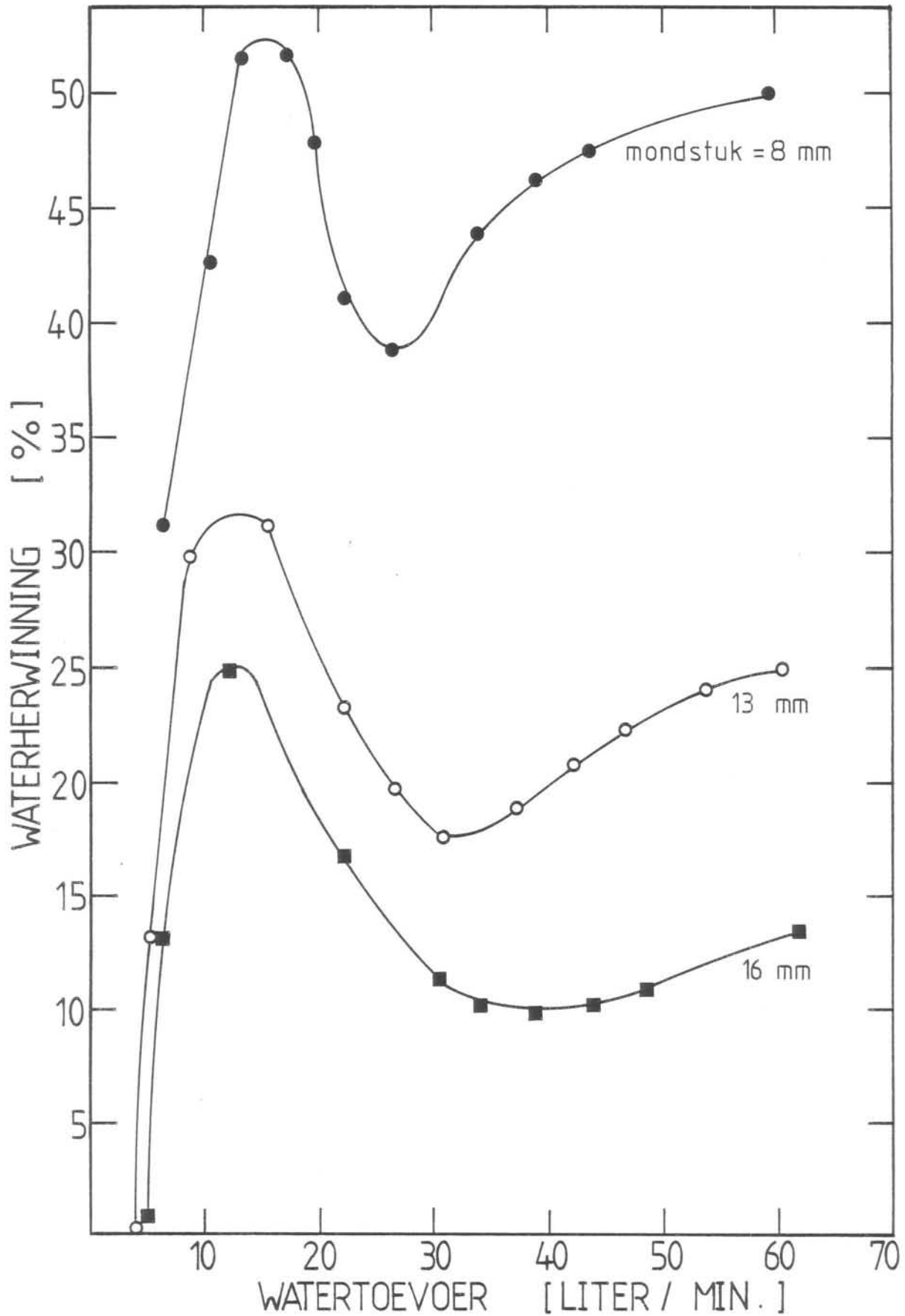


Fig. 4.6 : Herwinning van water in die bovloei met gebruik van poli-etileen voetstuk en versterkte keramieksilinder. Drie mond stukgroottes is gebruik.  $\phi = 48,2$  mm;

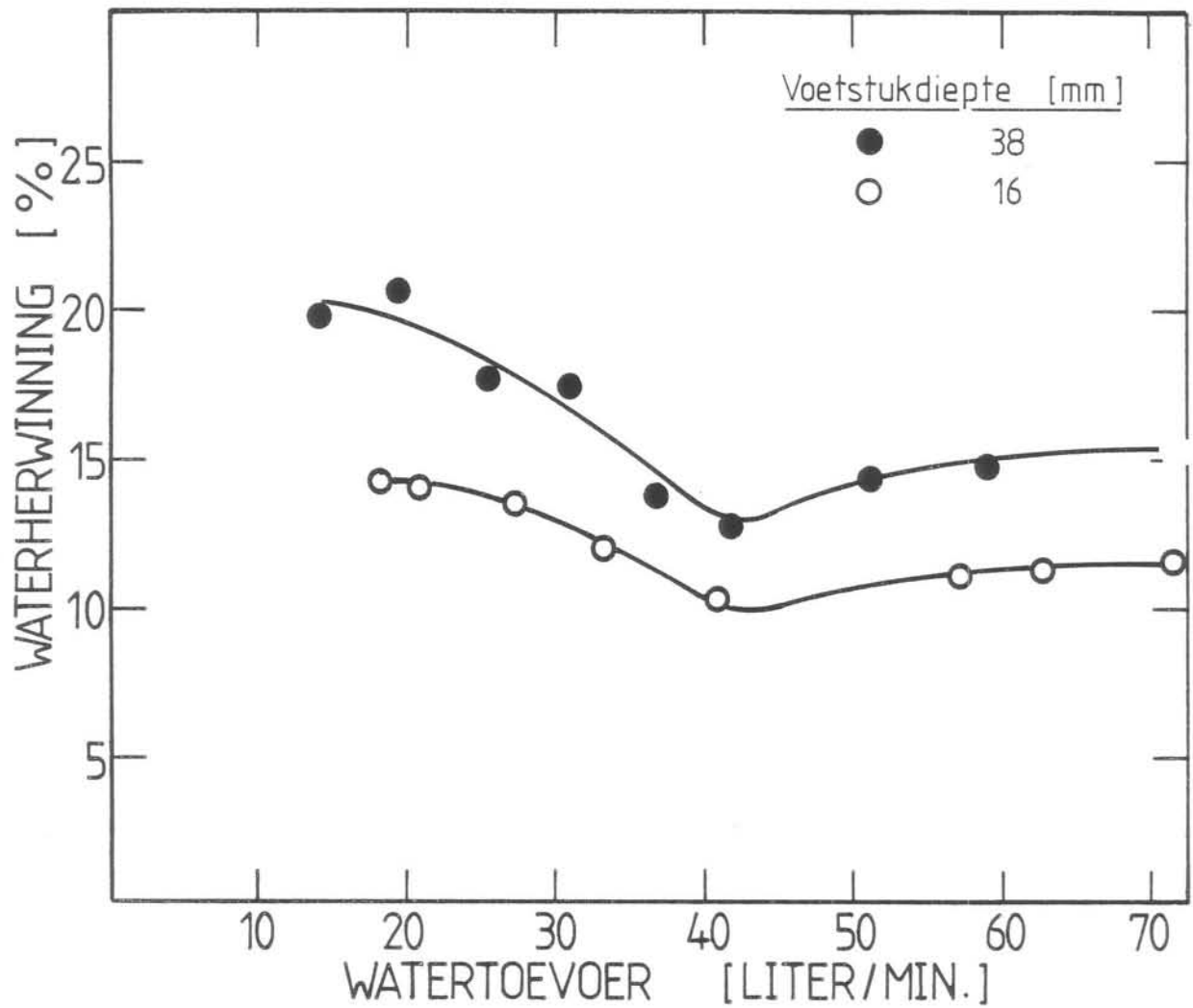


Fig. 4.7 : Herwinning van water in die bovloei tydens byvoeging van skuimmiddel by twee voet stukdieptes. Silindriese voetstukring;  $\Phi = 47,4$  mm. Skuimmiddel = 10 mg/l.



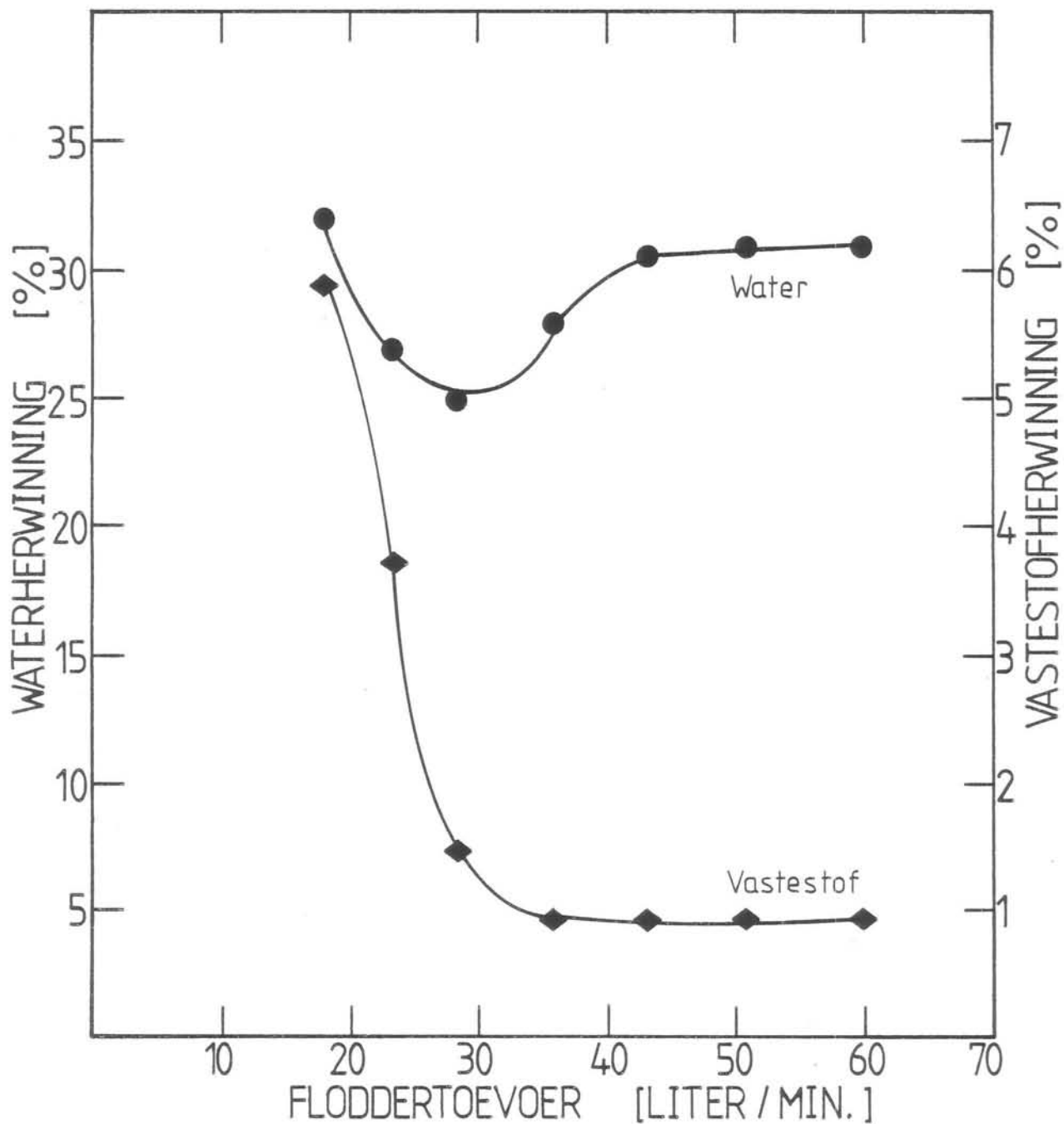


Fig. 4.8 : Herwinning van water en vastestof in die  
 bovloei tydens geen reagens-byvoeging.  
 Massa % vastestof in toevoer = 10%. Lug-  
 toevoer = 205 l/min. Koniese voetstukring  
 (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm.

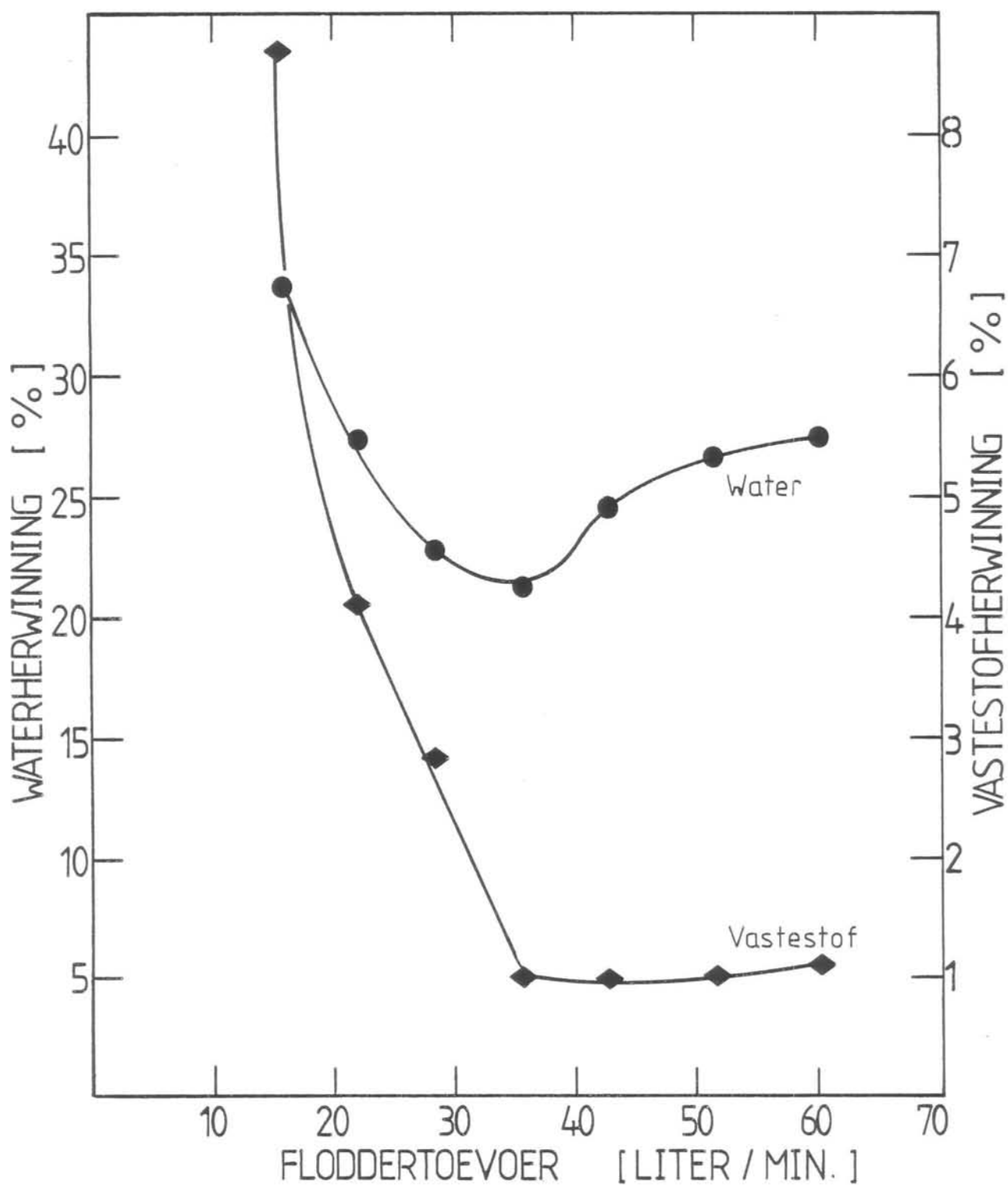


Fig. 4.9 : Herwinning van water en vastestof in die bovloei tydens geen reagens-byvoeging. Massa % vastestof in toevoer = 10%. Lug-toevoer = 200 l/min. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

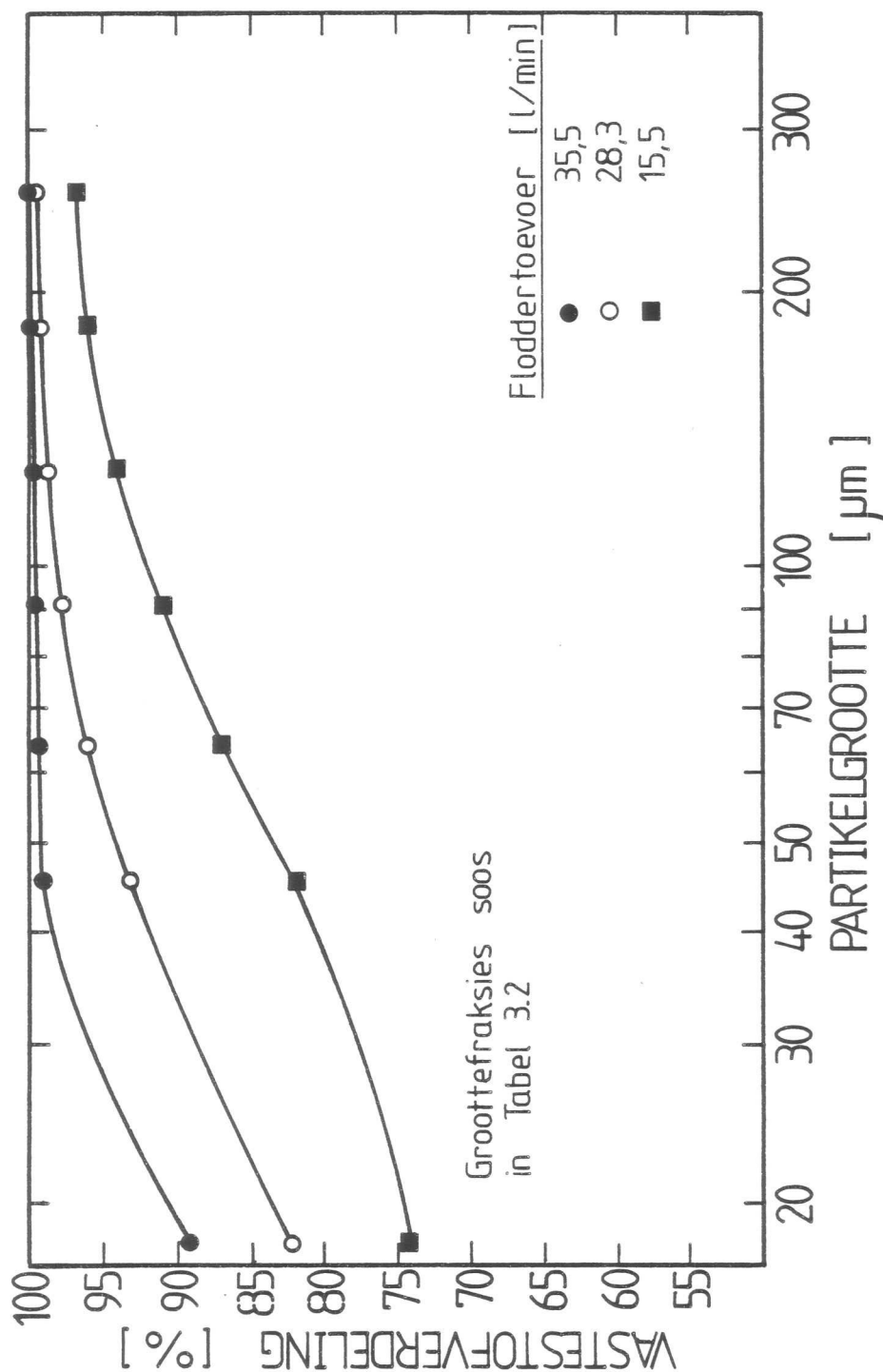


Fig. 4.10: Verdeling van vastestof na die onder-vloei by verskillende partikelgroottes. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Geen reagens-byvoeging.

## 5. INVLOED VAN REAGENS-BYVOEGING TYDENS FLOTTASIE IN 'N LUGGEBORRELDE HIDROSIKLOON

### 5.1 Skuimmiddelbyvoeging

#### 5.1. Totale swawelherwinning en swawelinhoud van die konsentraat

Tipiese tendense waargeneem vir verskillende skuimmiddel-konsentrasies word bespreek aan die hand van figure 5.1 tot 5.7. Vir hierdie eksperimente is die poli-etileen voetstuk met mondstuk gebruik wat ook presies dieselfde opstelling verteenwoordig as wat vir toetse in figuur 4.4 voorgestel is. Die invloed van lugtoevoertempo word eers in hoofstuk 6 bespreek, maar daar word volledigheidshalwe hier aangetoon hoe skuimmiddelkonsentrasie die flottasie-effektiwiteit by twee lugtoevoertempo's beïnvloed. 'n Bespreking van tendense sal gedoen word na aanleiding van resultate by 'n lugtoevoer van 200 l/min (figure 5.2 tot 5.8). Met 'n lugtoevoer van 140 l/min (fig. 5.1) word dieselfde tendense waargeneem behalwe dat 'n vreemde fluktuasie in die kurwe voorkom, waaraan in latere bespreking meer aandag gegee sal word.

Voordat die invloed van skuimmiddel as sulks beskou word, kan die algemene verloop van al drie kurwes in figuur 5.2 verduidelik word na aanleiding van resultate wat uit vorige navorsing<sup>(1,30,32)</sup> verkry is. Tydens flottasie van kopersulfied<sup>(1)</sup>, het dit in die algemeen geblyk dat herwinning van +38 mikron partikels swakker word by hoër floddertoevoertempo's, terwyl die teenoorgestelde geld vir -38 mikron partikels. Hoë turbulensie en sterk sentrifugale kragte neig om die groter partikels van die skuimborrels af te skeur, maar terselfdertyd word die botsingseffektiwiteit van fyn partikels<sup>(9,10,11)</sup> verhoog. By hoë flodder-toevoertempo's is bogenoemde neigings (wat betref swawelherwinning) dus 'n logiese gevolg.

Daar is reeds genoem dat slegs 8% van die partikels in die pirieterts fyner as 38 mikron was (sien seksie 3.3). Dit kan derhalwe verstaan word dat die totale herwinning van hierdie erts dieselfde neigings sal toon as +38 mikron partikels. Figuur 5.2 toon dan ook 'n maksimum herwinning van swawel by floddertoevoertempo's van tussen 30 en 40 liter per minuut, waarna dit progressief afneem by hoër toevoertempo's.

'n Hoër skuimmiddelkonsentrasie neig om hierdie tendens af te plat, sodat herwinning afneem by lae flodder-toevoertempo's en toeneem by hoë voertempo's. Soos by konvensionele flottasieprosesse neem die waterherwinning deurgaans toe (fig. 5.4) terwyl die swawelinhoud van die konsentraat dienooreenkomstig afneem (fig. 5.3). Vir al die skuimmiddelkonsentrasies word die hoogste swawelinhoud verkry by die punt van minimum waterherwinning.

Alhoewel die persentasie vastestof wat na die bovloei beweeg, hoër is by hoër skuimmiddelkonsentrasies (fig. 5.5), kompenseer dit nie genoeg vir die afname in swawelinhoud nie (indien lae toevoertempo's gebruik word) en die herwinning is derhalwe laer by lae voertempo's.

Die skuimmiddel beïnvloed waarskynlik die dikte van die flodderlaag teen die hidrosikloonwand en dit blyk veral 'n groter invloed te hê by lae floddertoevoertempo's. 'n Groter hoeveelheid hidrofiliese partikels word na die bovloei gevoer indien baie skuimmiddel bygevoeg word (en die flodderlaag dus dikker word), sodat daar in sodanige geval 'n swakker skeiding van hidrofobiese partikels blyk te wees.

Vir hoë floddertoevoertempo's volg dit dat 'n meer stabiele skuimfase (meer skuimmiddel) die effek van hoë skuifkragte gedeeltelik neutraliseer. Dit is verder ook moeiliker vir hidrofiliese partikels om téén die hoë sentrifugale kragte

na die bovloei te beweeg. Vandaar dus die neiging om 'n beter swawelherwinning by hoë voertempo's te verkry indien die skuimmiddelkonsentrasie sou toeneem.

#### 5.1.2 Flotterbaarheid van verskillende groottes partikels

Partikels tussen 38 en 106 mikron flotter uiters goed in hierdie luggeborrelde hidrosikloon (figure 5.6 en 5.7). Herwinnings van 90 tot 96 persent word hier verkry by 'n floddertoevoer van 35 liter per minuut en terselfdertyd is die swawelinhoud (van die konsentraat) die hoogste in hierdie groottegebied.

In figuur 4.10 is reeds getoon dat ongeveer 11% van die -38 mikron partikels na die bovloei beweeg (by 'n floddertoevoer van 35 liter per minuut) indien suiwer klassifikasie van partikels ondersoek word. Die invloed hiervan kan nou duidelik in figuur 5.7 waargeneem word, waar die swawelinhoud van die -38 mikron partikels aansienlik laer as vir die +38 -106 mikron fraksie is.

Analoog aan vroeëre waarnemings<sup>(1)</sup>, neem die swawelinhoud van die konsentraat af vir die heel growwe partikels (+150 mikron). 'n Moontlike verduideliking hiervoor<sup>(30)</sup> volg uit die feit dat die herwinning van growwe partikels afhanklik is van die hidrosikloonlengte. Die grootte van eddy-werwels (Prandtl mengafstand) neem toe met 'n toename in aksiale afstand. Groter werwels is nodig vir goeie herwinning van growwe partikels en daar kan dus aanvaar word dat die meeste growwe hidrofobiese partikels nader aan die onderpunt van die hidrosikloon geskei word. Die sentrifugale kragte is hier laer en dit volg dus dat die suiwerheid van skeiding tussen hidrofobiese en hidrofiliese partikels sal afneem.

Figuur 5.8 toon dat die vastestofherwinning van alle groottefraksies hoër is by hoër skuimmiddelkonsentrasies (vir toevoertempo van 35 liter per minuut).

## 5.2 Kollektorbyvoeging

Kollektorkonsentrasie speel beslis 'n rol in die tempo van massa-oordrag tydens flottasie. Daar is gevind<sup>(15)</sup> dat 'n hoër konsentrasie 'n hoër maksimum herwinning van die betrokke mineraal (sowel as gangsteen) tot gevolg het, maar dat die herwinningstempo (tempo van massa-oordrag) as sulks verlaag word.

'n Meer stabiele kontak tussen partikel en lugborrel<sup>(16)</sup> behoort met hoër kollektorhoeveelhede te vorm.

Figure 5.9 tot 5.18 illustreer tipiese tendense as gevolg van verandering in kollektorkonsentrasie tydens flottasie in die luggeborrelde hidrosikloon. Die koniese voetstuk A (effektiewe deursnit van 49 mm ; indringing van 50,9 mm vir 10 massa % flodders en 34,0 mm vir 30 massa % flodders) is vir hierdie toetse gebruik. Die lugtoevoer was 205 l/min.

'n Duidelike verbetering in swawelherwinning word waargeneem indien hoër kollektorkonsentrasies gebruik word. Dit geld by verskillende floddervoertempo's en skuimmiddelkonsentrasies. Dit sou te wagte wees dat die swawelinhoud van die konsentraat dienoreenkomstig af behoort te neem, maar figure 5.11 en 5.12 toon dat dit nie noodwendig die geval is nie.

'n Onverwagte effense daling in die swawelinhoud word in die floddertoevoergebied tussen 25 en 40 liter per minuut (afhangende van die kollektorkonsentrasie) waargeneem. Hierdie drastiese neiging is nie altyd waargeneem indien die poli-etileen voetstuk (soos in seksie 5.1) gebruik is nie, behalwe by 'n lugtoevoer van 140 l/min. Kinneberg en

Miller<sup>(1)</sup> noem ook niks in verband met sodanige tendense nie. Daar sal in latere seksies meer aandag hieraan gegee word.

Wat nou wel van belang is, is dat 'n kollektorkonsentrasie van ongeveer drie maal so hoog soos vir konvensionele flottasie-apparaat benodig word om bevredigende herwinnings (sowel as graad) te lewer. Let verder op dat maksimum herwinning by hoër floddertoevoertempo's voorkom indien die kollektorkonsentrasie verhoog word.

Figure 5.13, 5.14 en 5.15 beskryf die verdeling van water en vastestof tydens gebruik van hierdie verskillende kollektorhoeveelhede. Dit is nou duidelik dat die punt van minimum waterherwinning die operasionele karakter van die luggeborrelde hidrosikloon in twee kategorieë verdeel. By floddervoertempo's laer as hierdie punt is daar 'n prominente daling in die swawelinhoud van die konsentraat wat natuurlik geïnisieer word deur die ooreenkomstige styging in totale herwinning van vastestof.

Vir floddertoevoertempo's bokant die minimum water-verdelingspunt het die kollektorkonsentrasie 'n duidelike invloed op die herwinning van water. Dit moet in gedagte gehou word dat die werking van skuimmiddels soms deur die byvoeging van 'n kollektor beïnvloed word. Figuur 5.16 bevestig dat bogenoemde tendense ook voorkom tydens flottasie met 'n 30 massa % flodder. Beide die swawelherwinning (fig. 5.17) en swawelinhoud (fig. 5.18) is duidelik hoër vir alle partikelgroottefraksies indien 'n hoër kollektorhoeveelheid gebruik word. Dit wil ook voorkom asof die swawelinhoud meer verbeter vir growwe fraksies as vir die fyn fraksies. Hierdie neiging kan volg uit die feit dat juis die groot partikels (wat aan hoë sentrifugale kragte onderworpe is) uiters hidrofobies moet wees om die skuifkragte te oorkom en dat 'n hoër xantaatkonsentrasie dan 'n meer prominente invloed op growwe partikels sal hê.



Dit wil nou blyk dat die afname in die tempo van massa-oordrag (vir hoër kollektorkonsentrasies) met die gepaardgaande laer graad en hoër ewewig, soos wat tydens konvensionele flottasie waargeneem is, nie noodwendig 'n neiging by flottasie in die luggeborrelde hidrosikloon hoef te wees nie. 'n Meer suiwer skeiding tussen hidrofobiese en hidrofiliese partikels kan by hoër sentrifugale kragte verkry word indien meer stabiele bindings tussen borrels en partikels geskep word. Vandaar die neiging om maksimum swaelherwinning by hoër tangensiale vloeisnelhede te verkry indien kollektorbyvoeging sou toeneem.

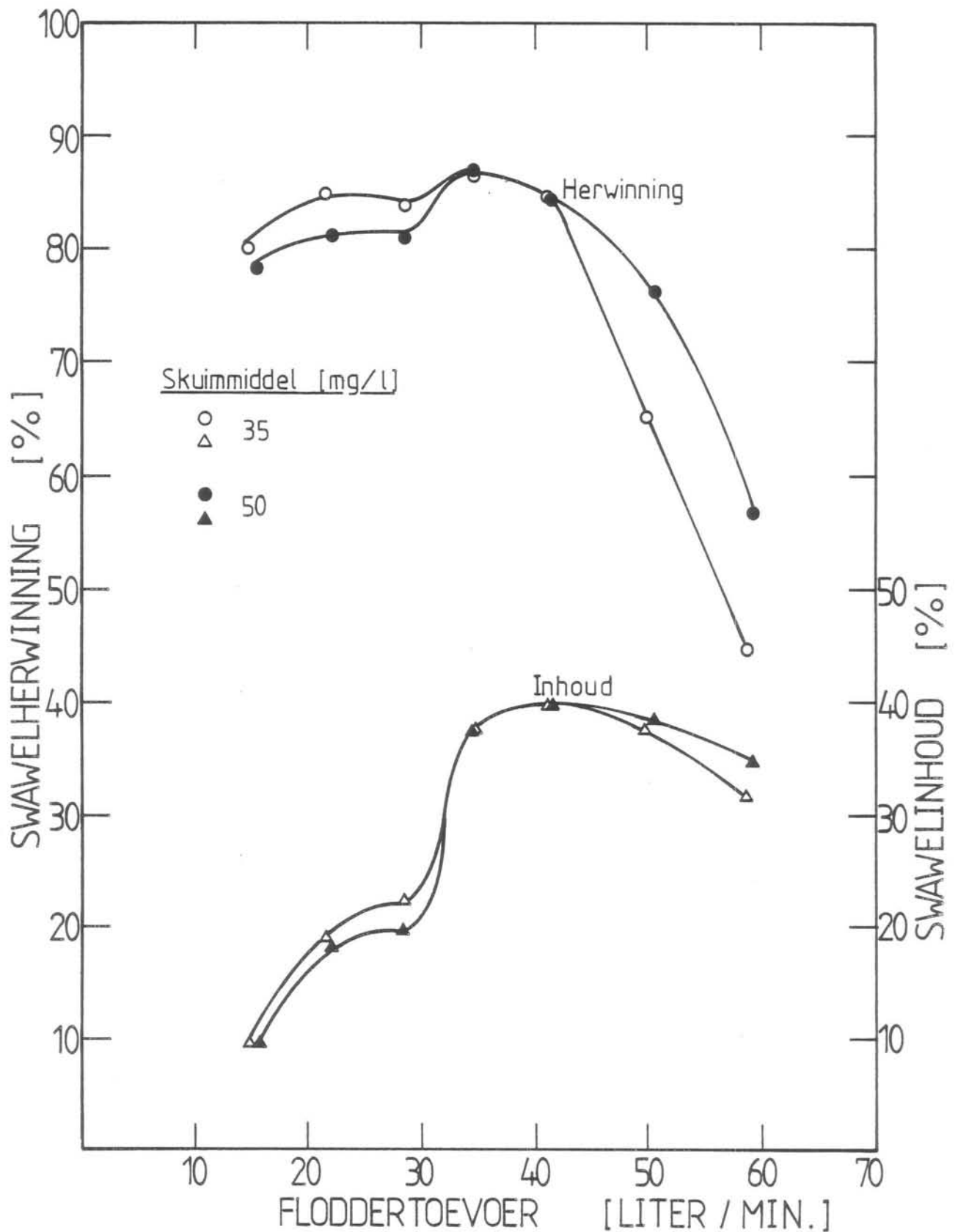


Fig. 5.1 : Swawelherwinning en -inhoud by twee skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 140 l/min. Kollektor = 160 d.p.m.

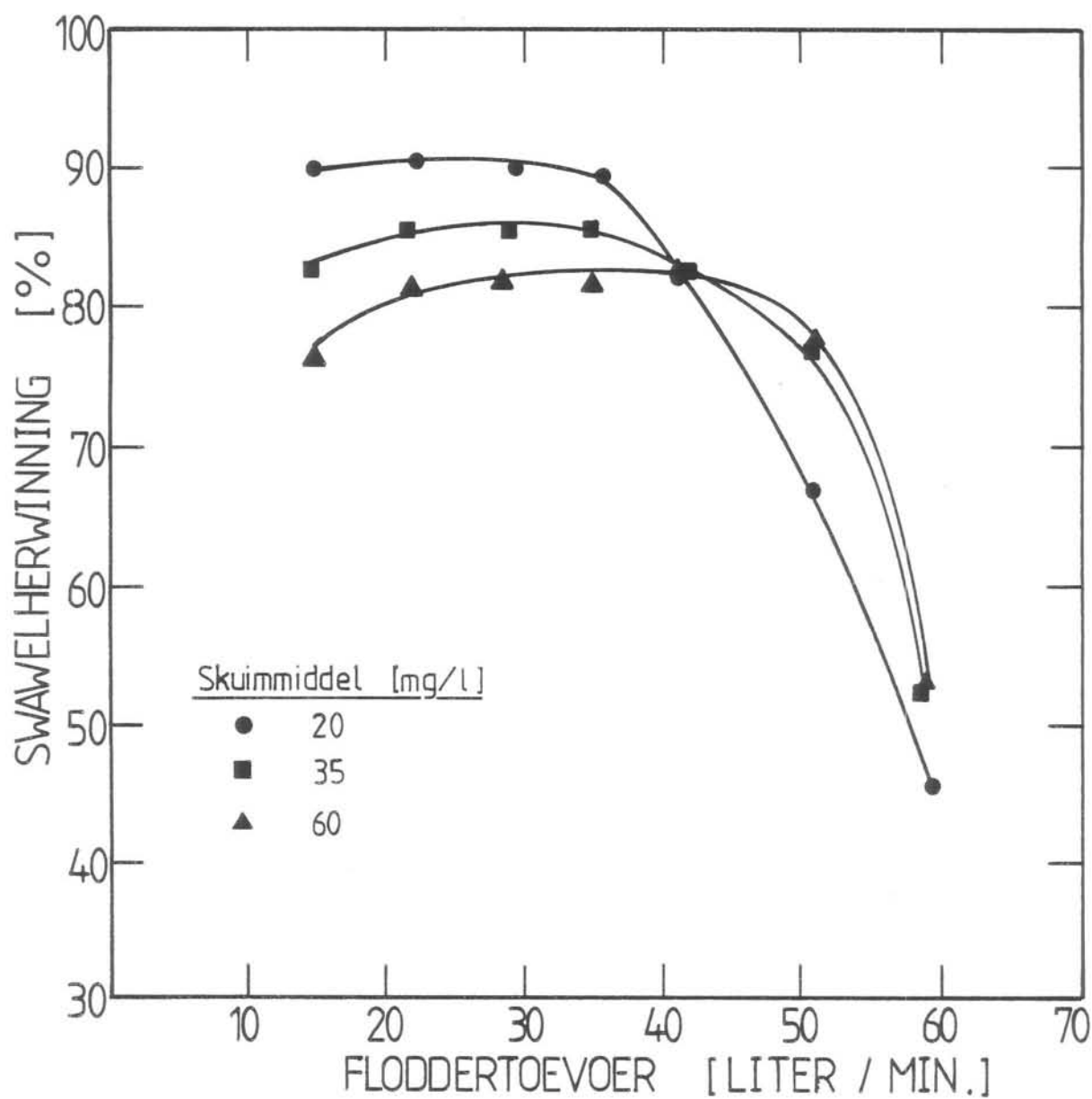


Fig. 5.2 : Swawelherwinning by drie skuimmiddel-konsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m.

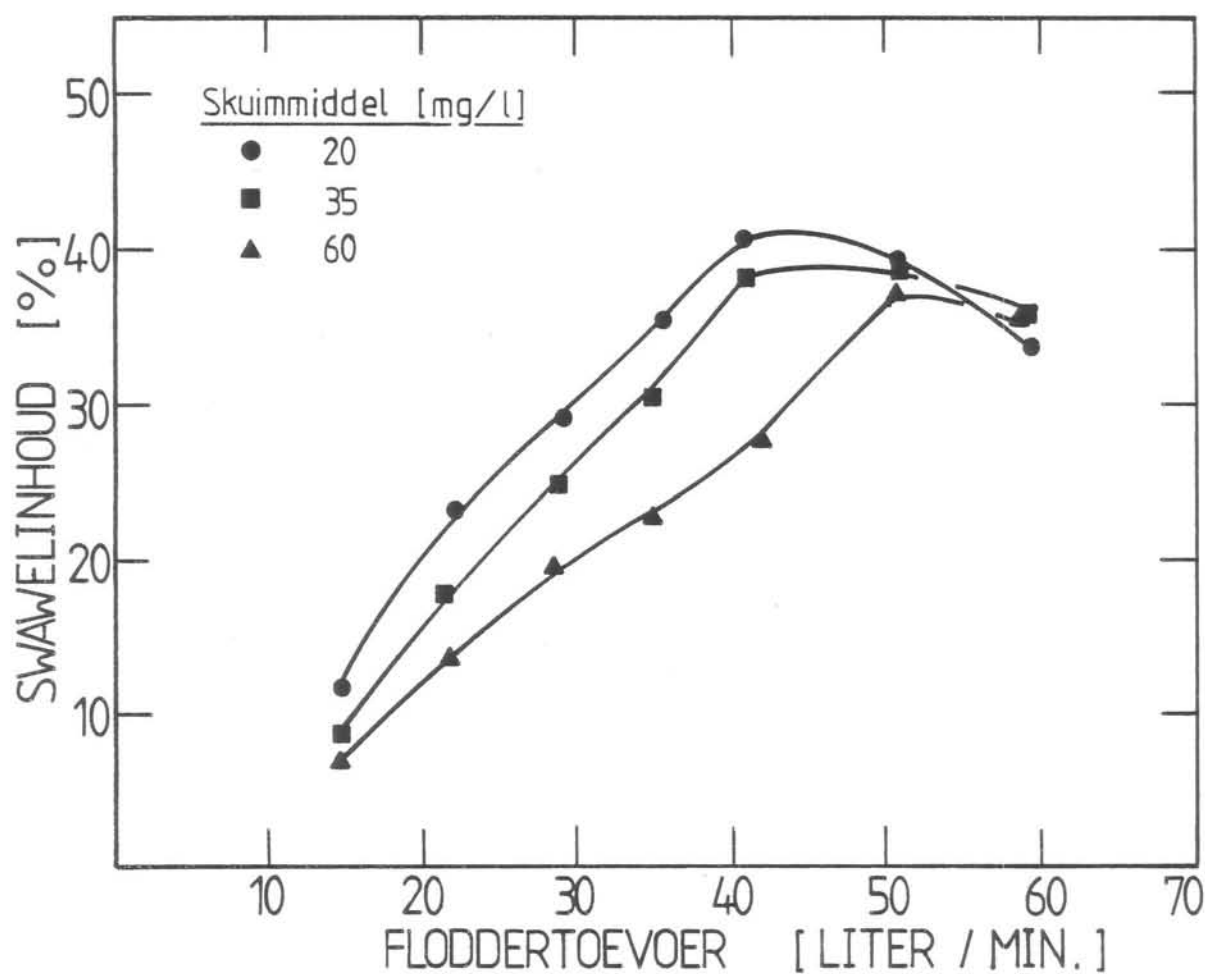


Fig. 5.3 : Swawelinhoud by drie skuimmiddel-konsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m.

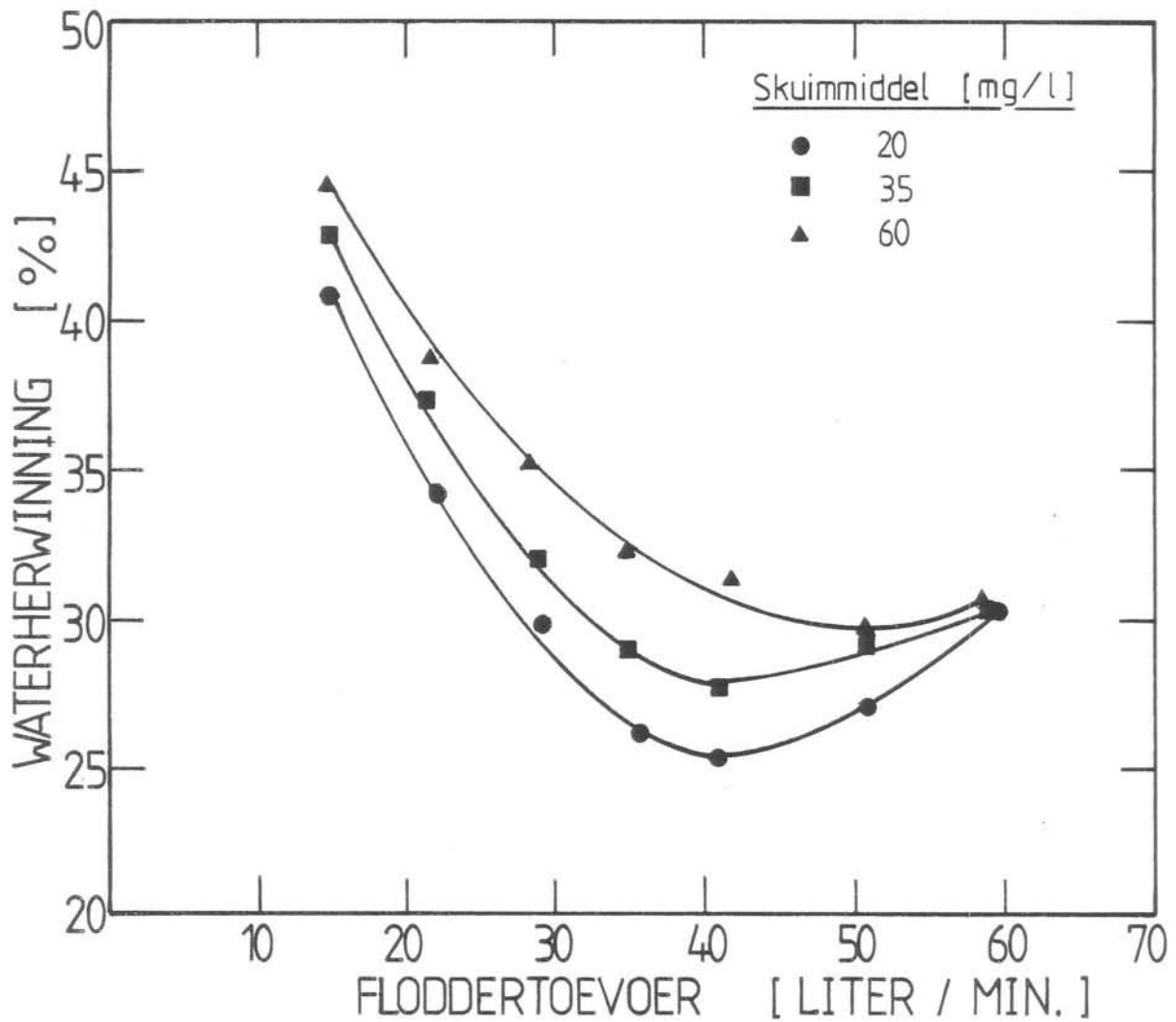


Fig. 5.4 : Waterherwinning by drie skuimmiddel-konsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m.

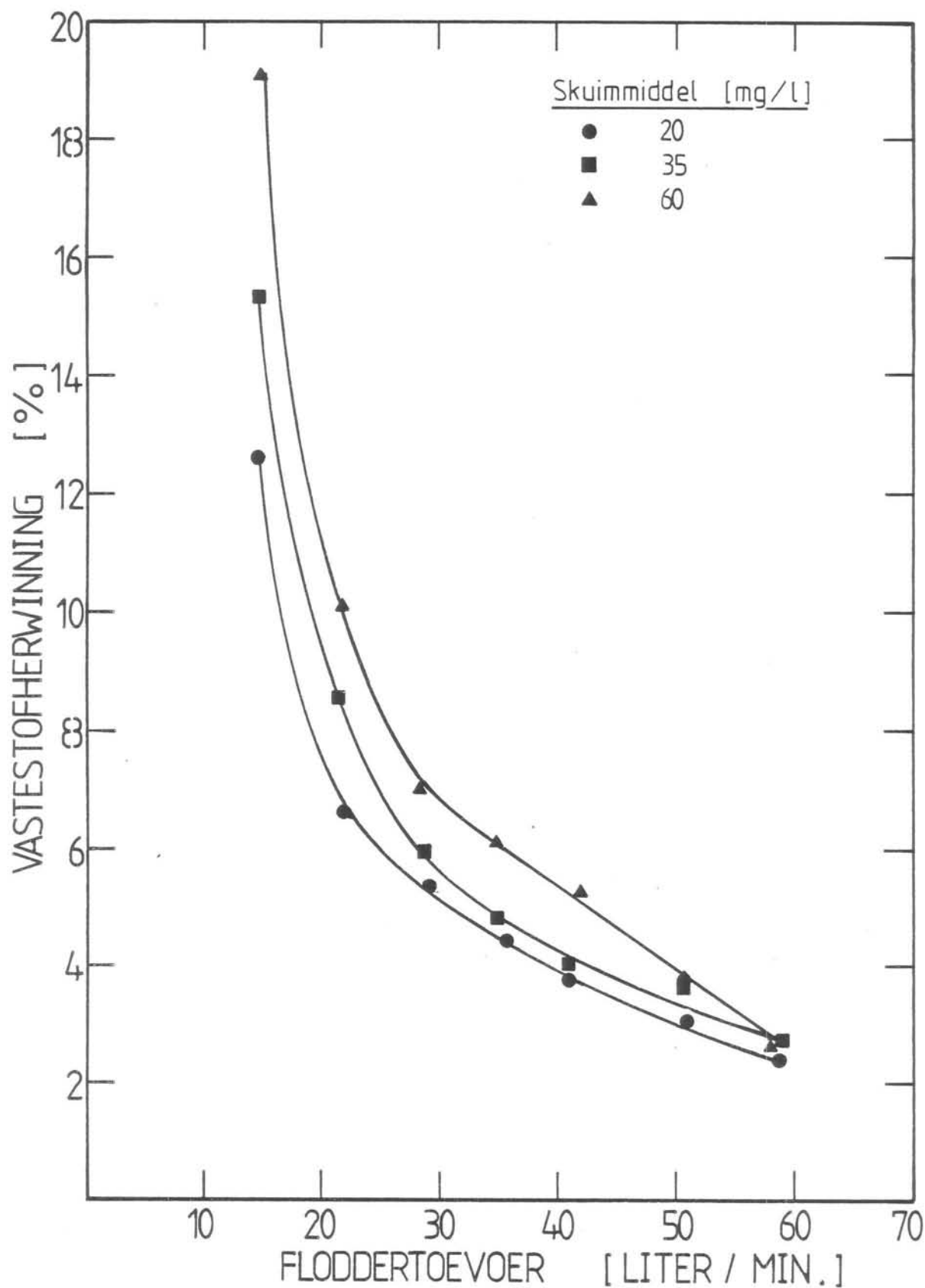


Fig. 5.5 : Vastestofherwinning by drie skuimmiddel-konsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m.

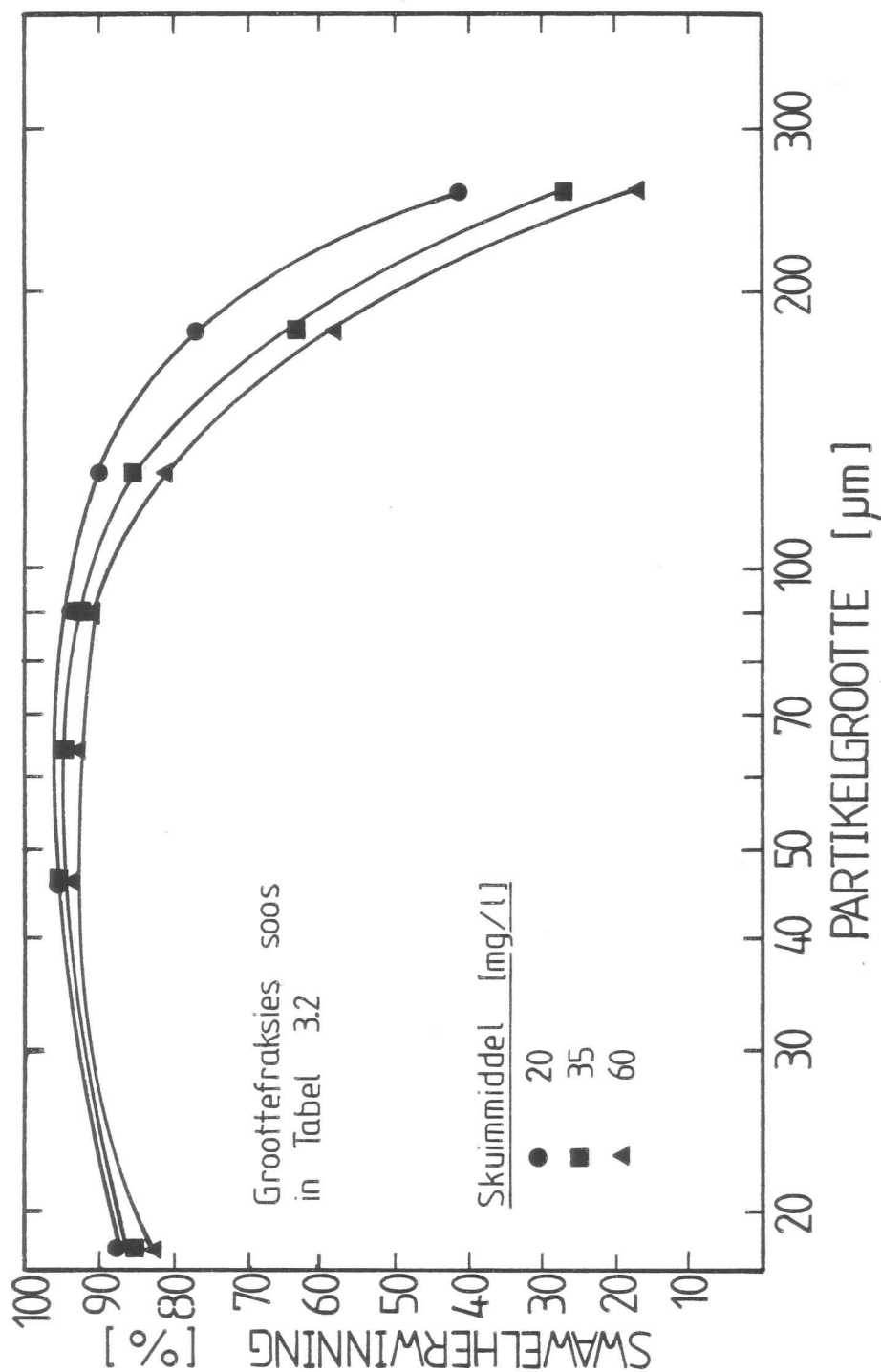


Fig. 5.6 : Swaelherwinning vir verskillende partikelgroottes en by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. Floddervoertempo = 35 l/min.

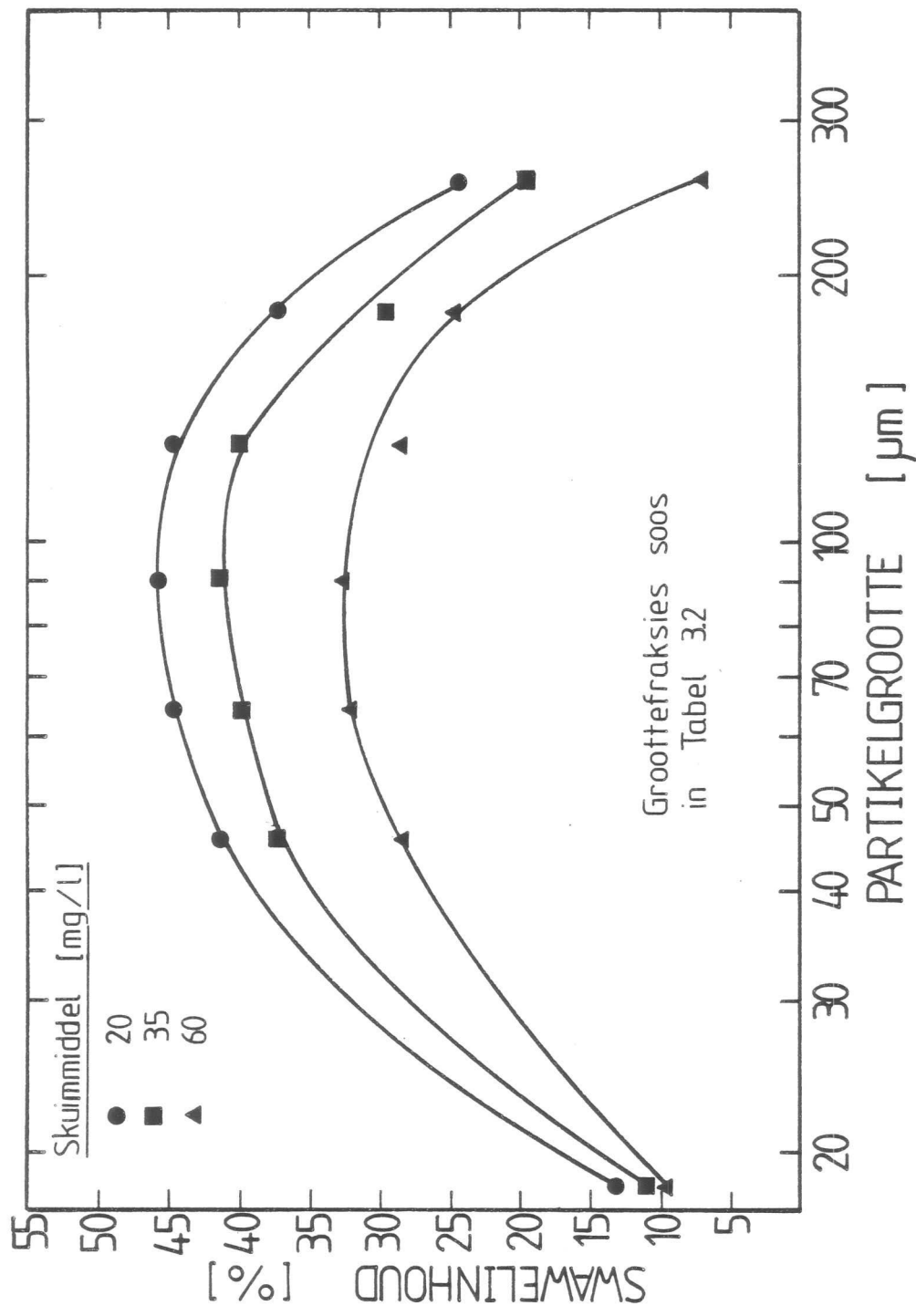


Fig. 5.7 : Swawelinhoud vir verskillende partikelgroottes en by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. Floddervoertempo = 35 l/min.



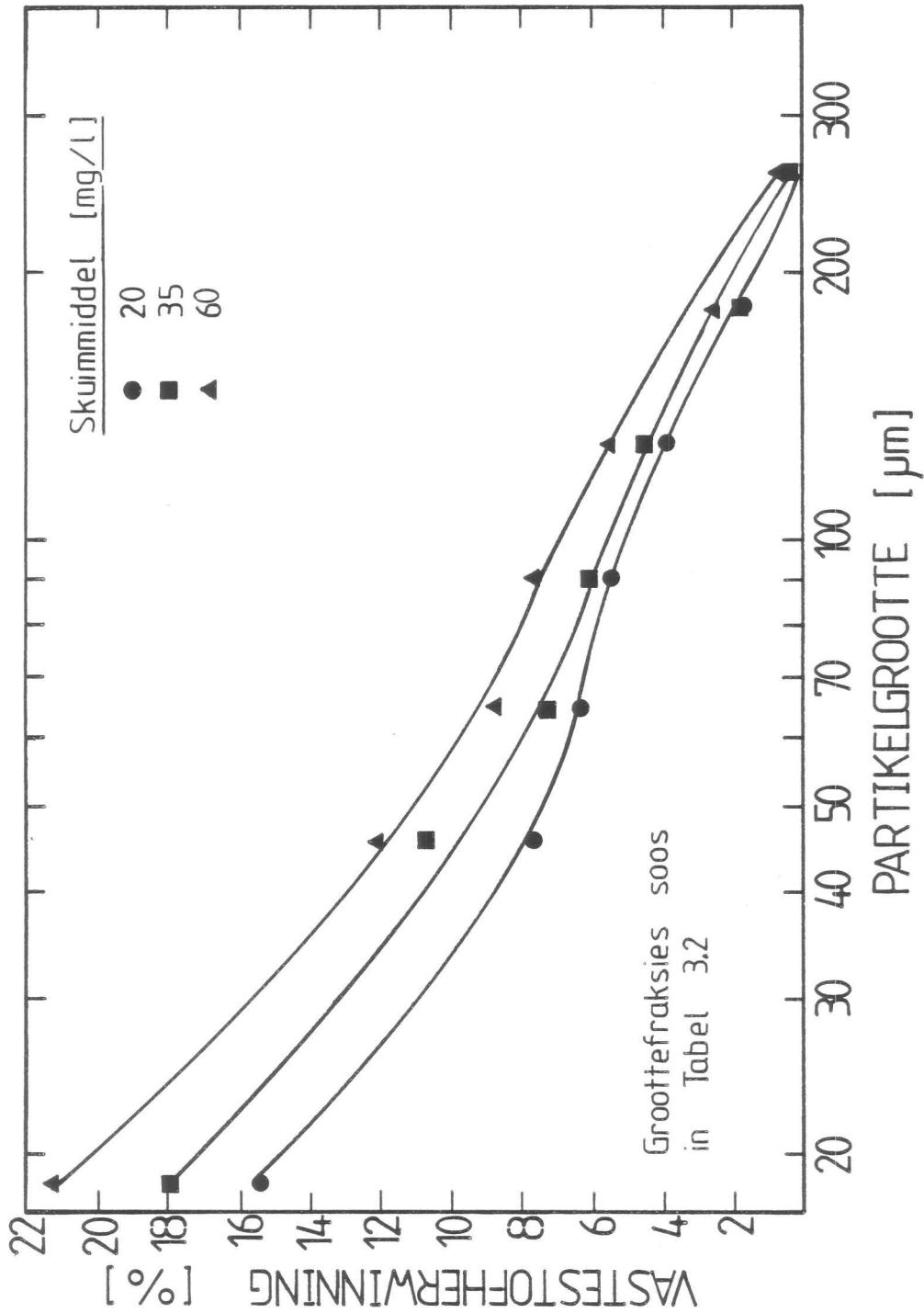


Fig. 5.8 : Vastestofherwinning vir verskillende partikelgroottes en by drie skuimmiddelkonsentrasies. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m. Floddervoertempo = 35 l/min.

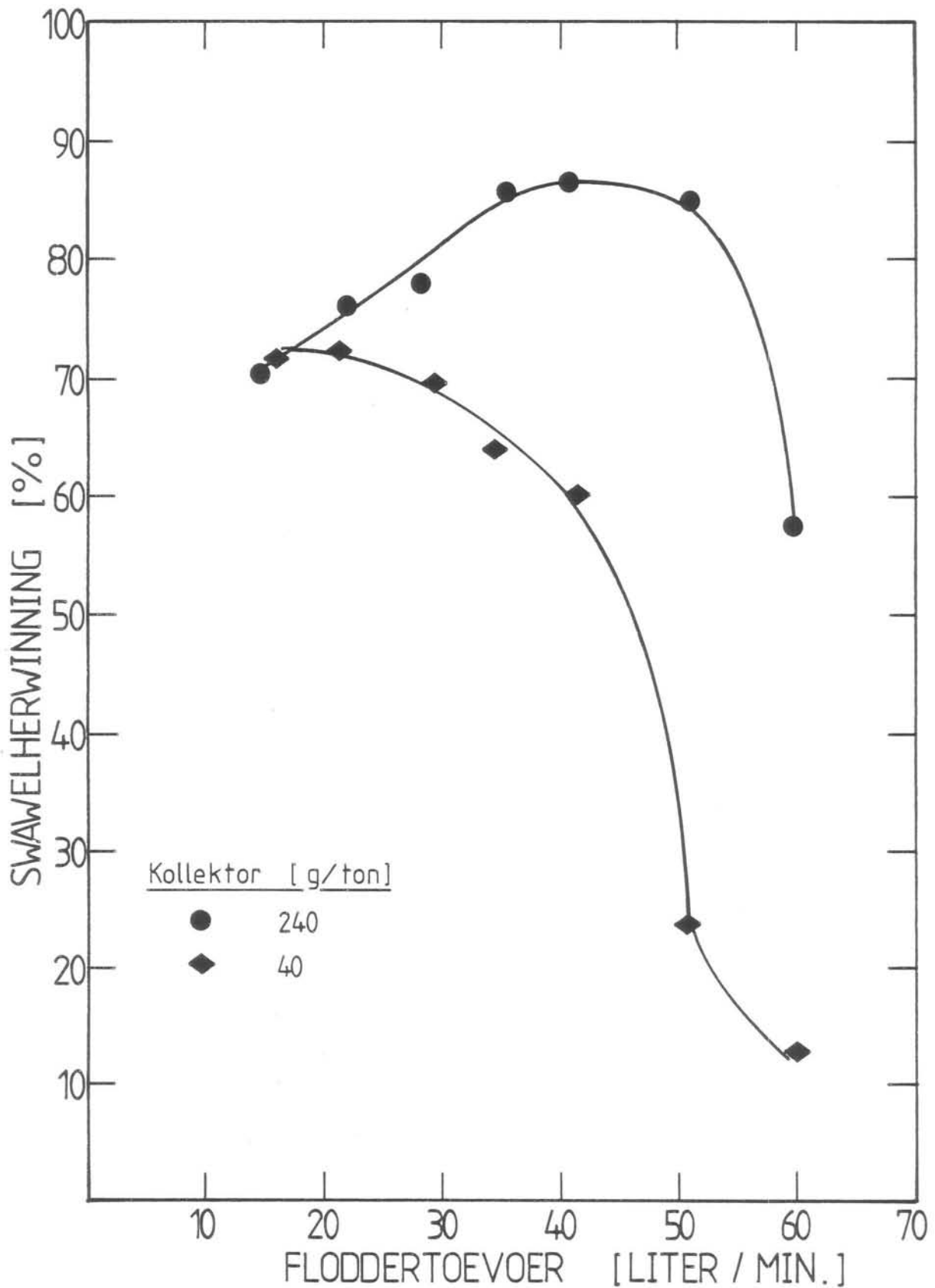


Fig. 5.9 : Swawelherwinning by twee kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuim-middelkonsentrasie = 50 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min.

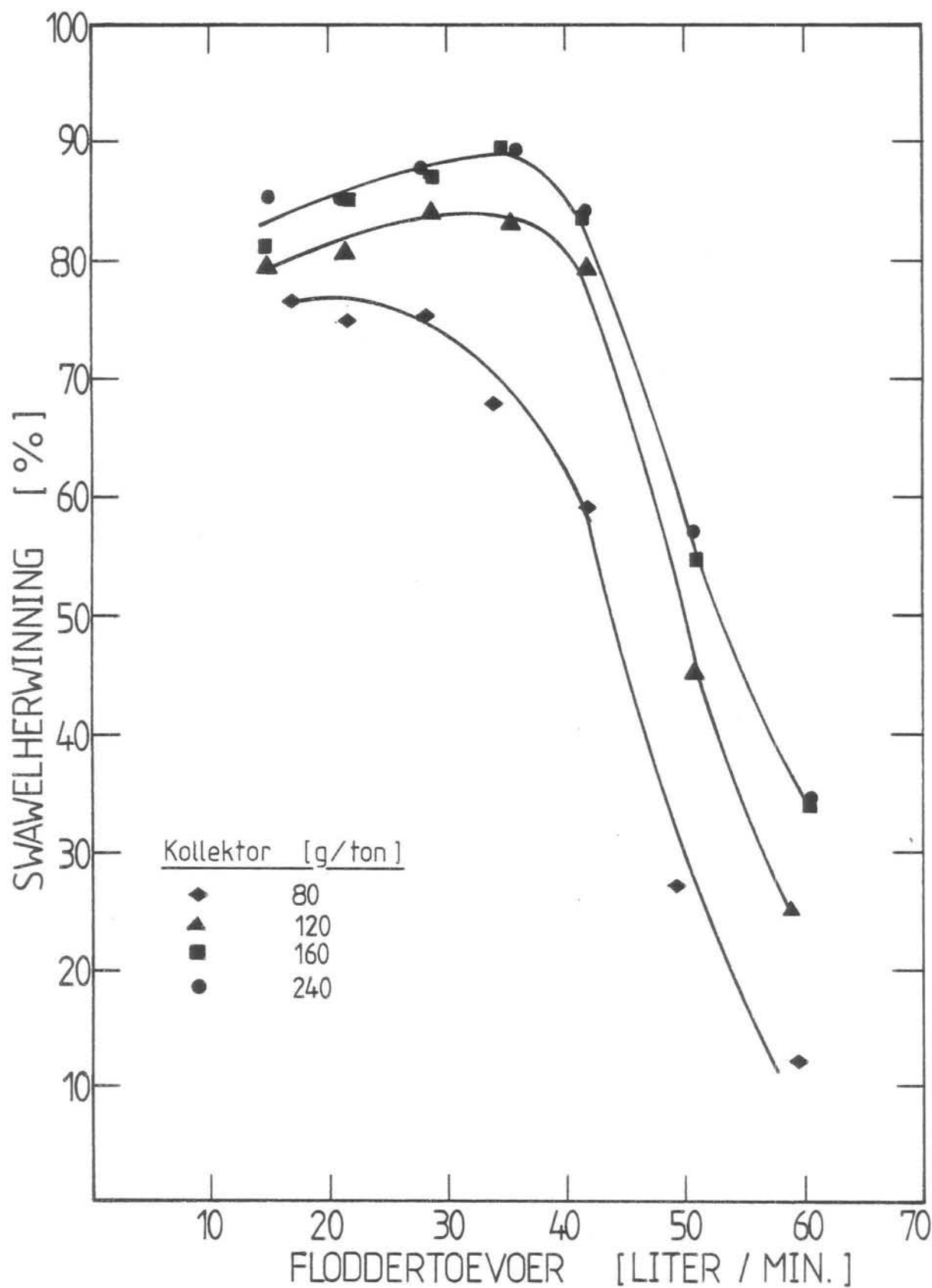


Fig. 5.10: Swawelherwinning by vier kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuim-middelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min.

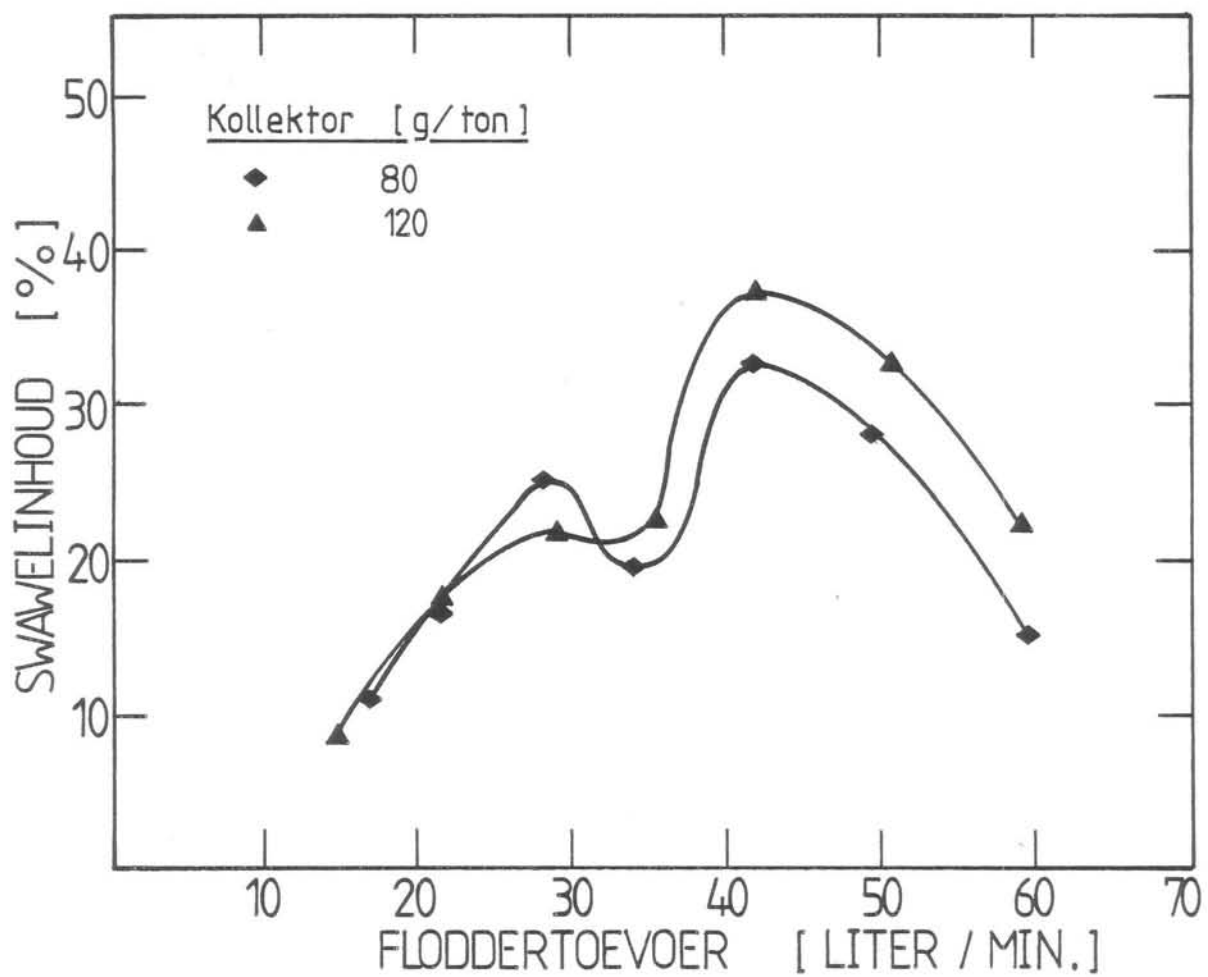


Fig. 5.11: Swawelinhoud van die konsentraat by twee kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min.

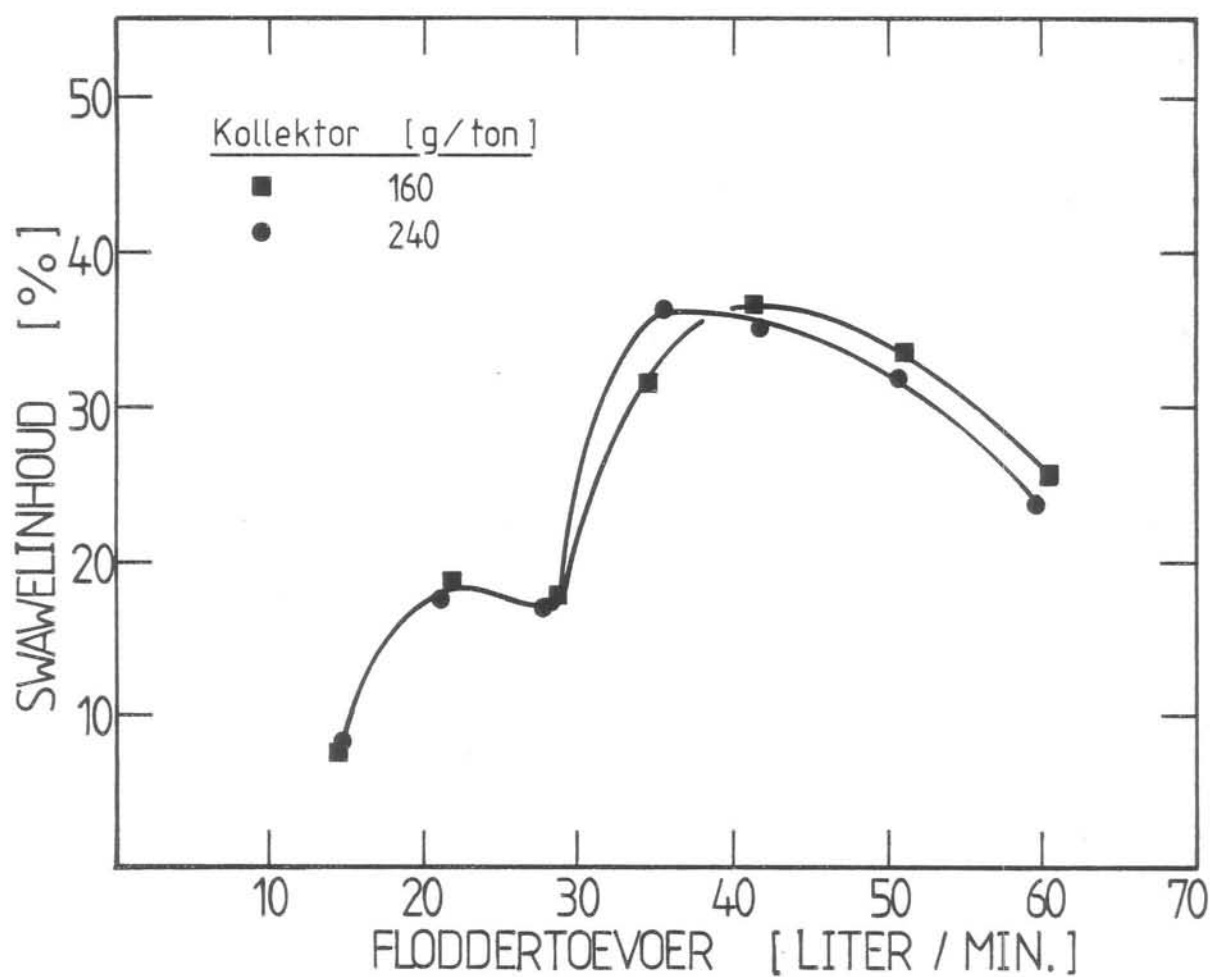


Fig. 5.12: Swawelinhoud van die konsentraat by twee kollektorkonsentrasies. Koniese voetstuk-ring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min.

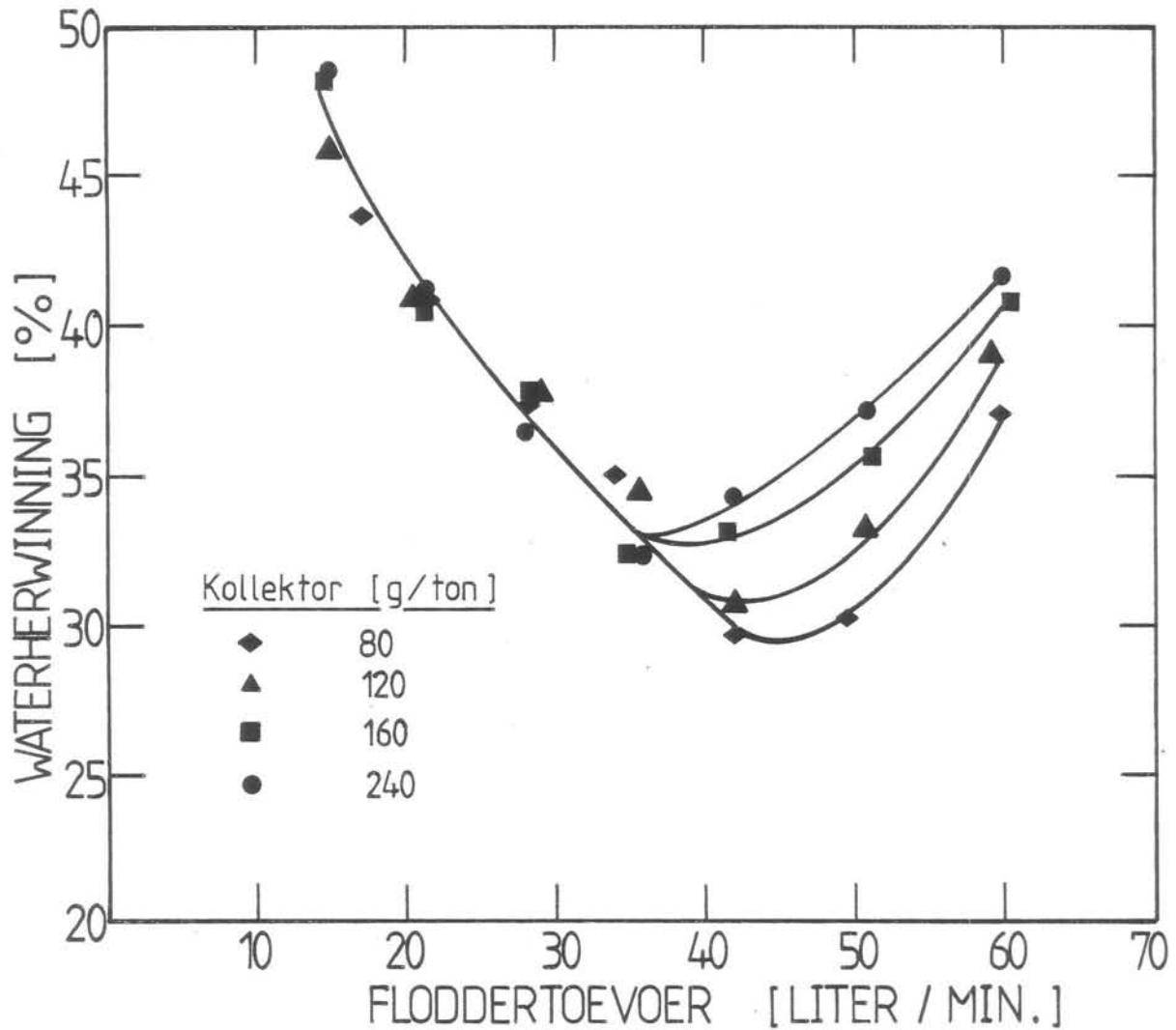


Fig. 5.13: Waterherwinning in die bovloei by vier kollektorkonsentrasies. Koniese voetstuk-ring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min.

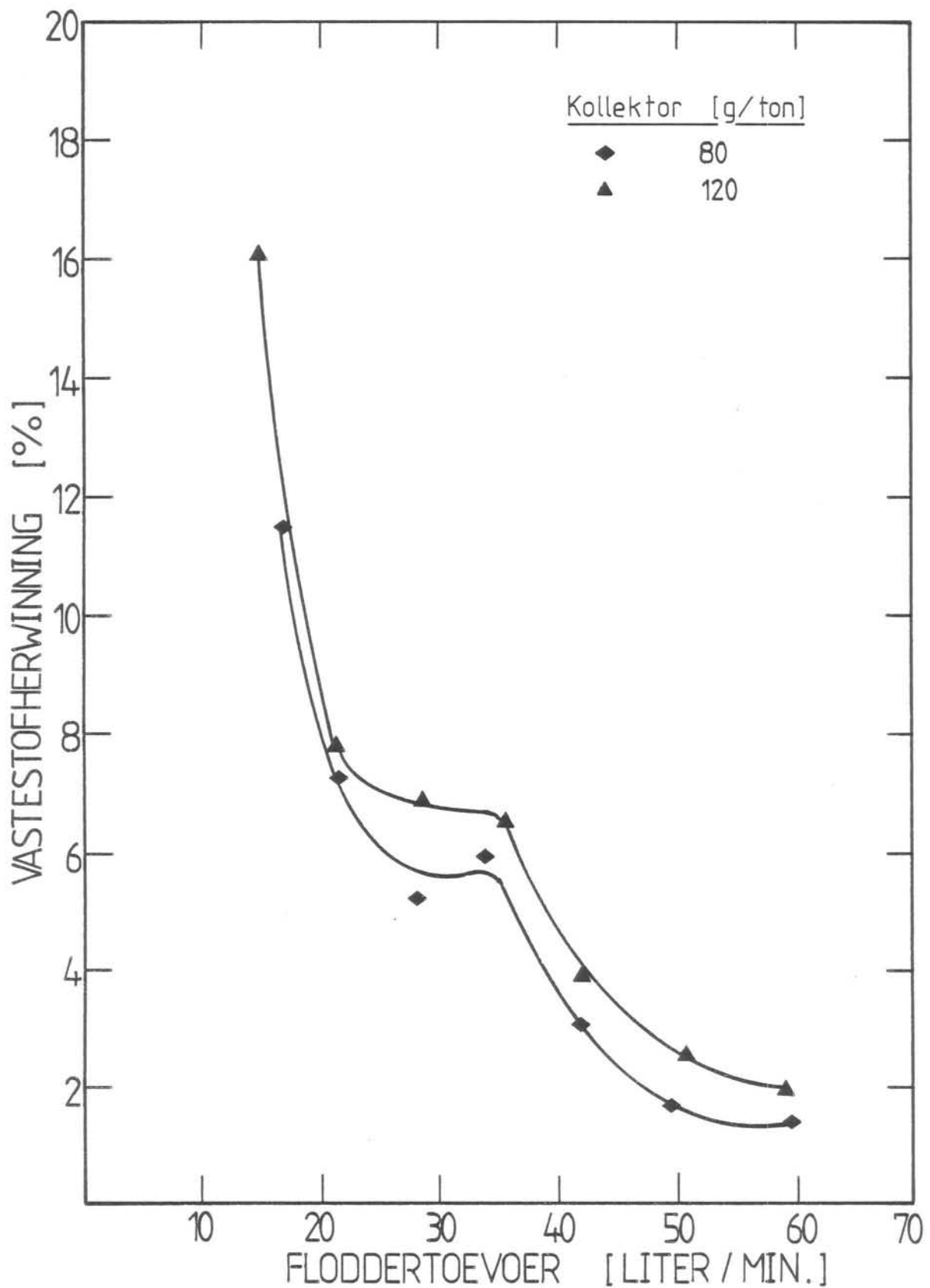


Fig. 5.14: Vastestofherwinning in die bovloei by twee kollektorkonsentrasies. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min.

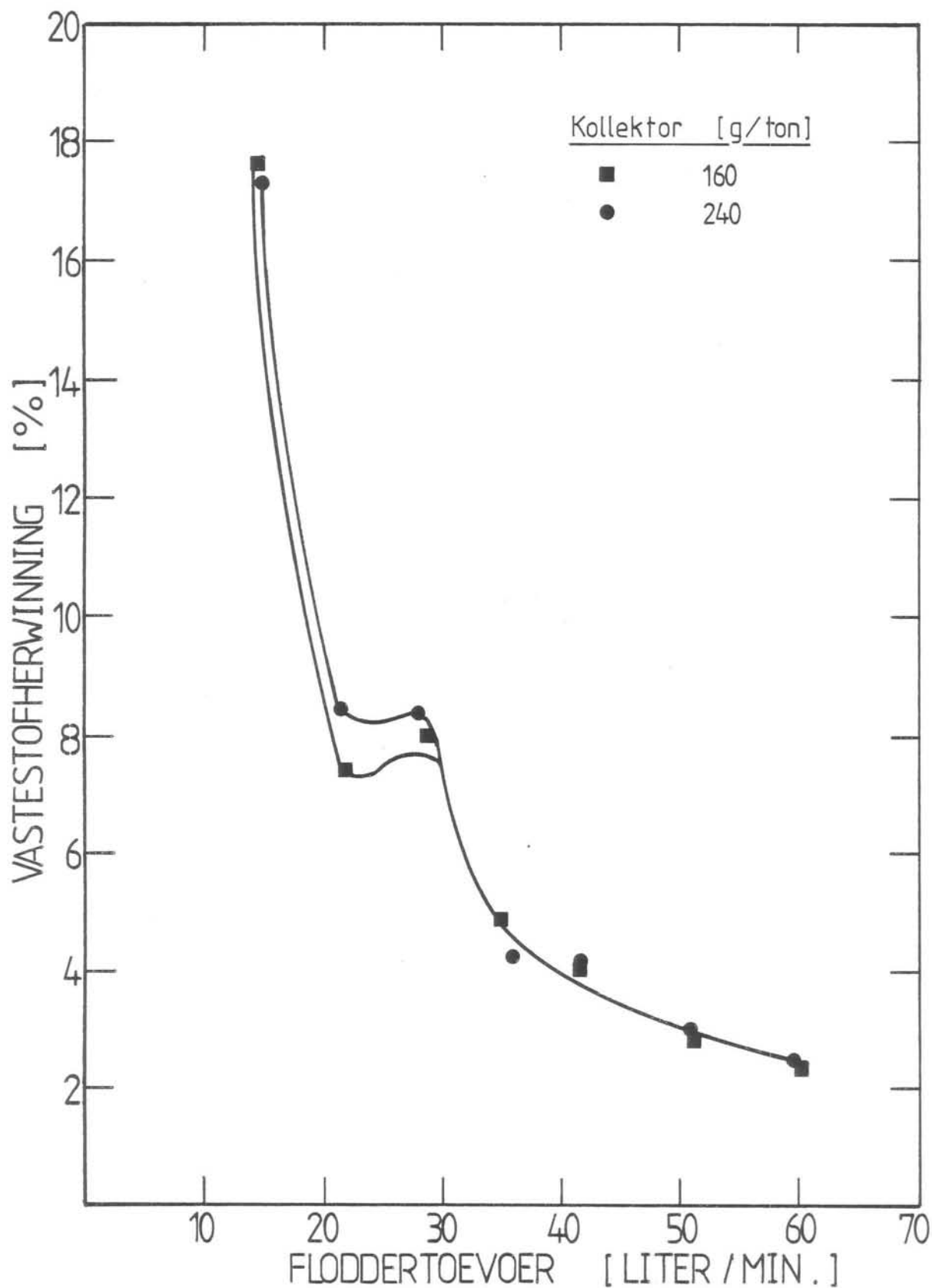


Fig. 5.15: Vastestofherwinning in die bovloei by twee kollektorkonsentrasies. Koniese voetstuk-ring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 50,9 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 30 mg/l. Lug-toevoer = 205 l/min.



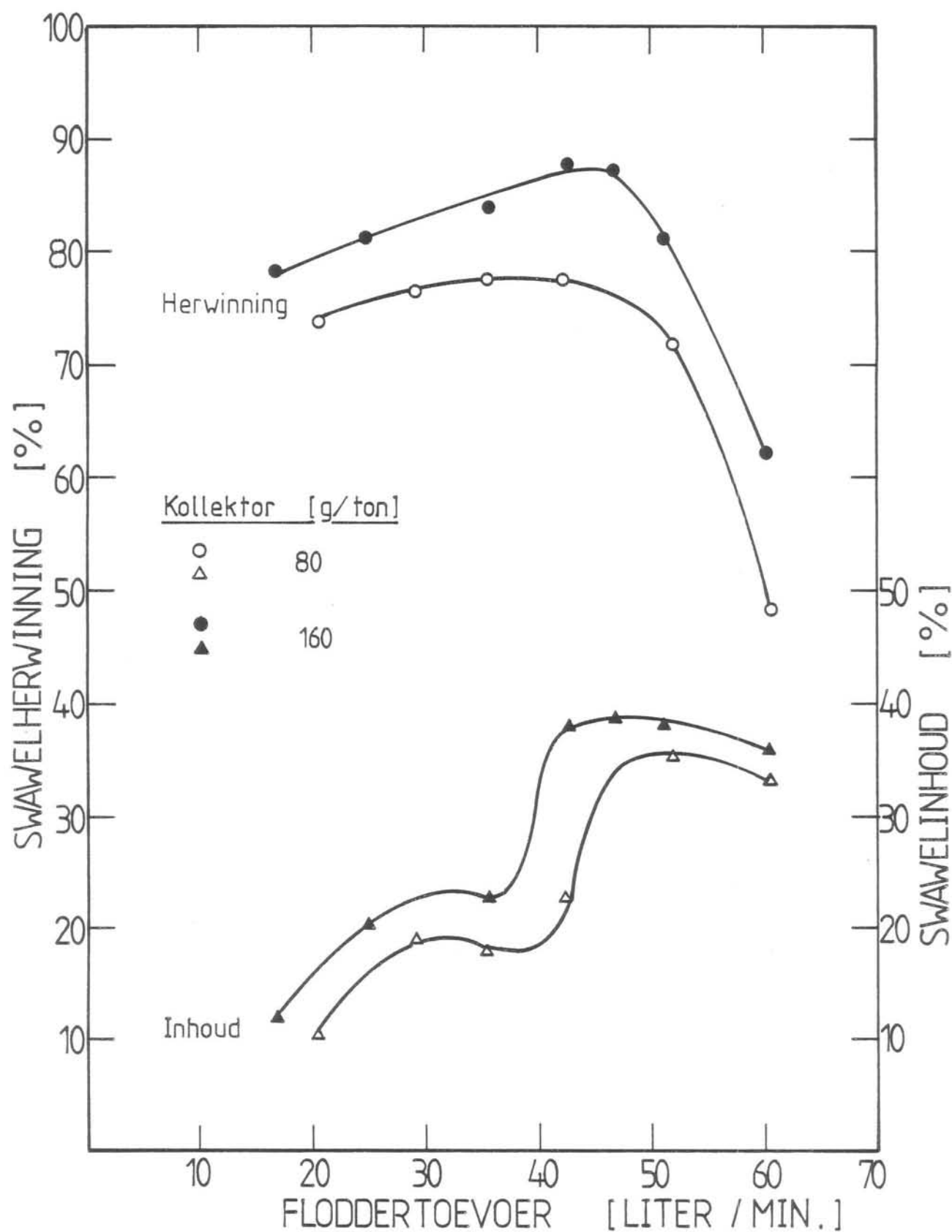


Fig. 5.16: Swawelherwinning by twee kollektorkonsentrasies. Massa % vastestof in toevoer = 30%. Koniese voetstukring (A);  $\phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Skuimmiddel-konsentrasie = 50 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min.

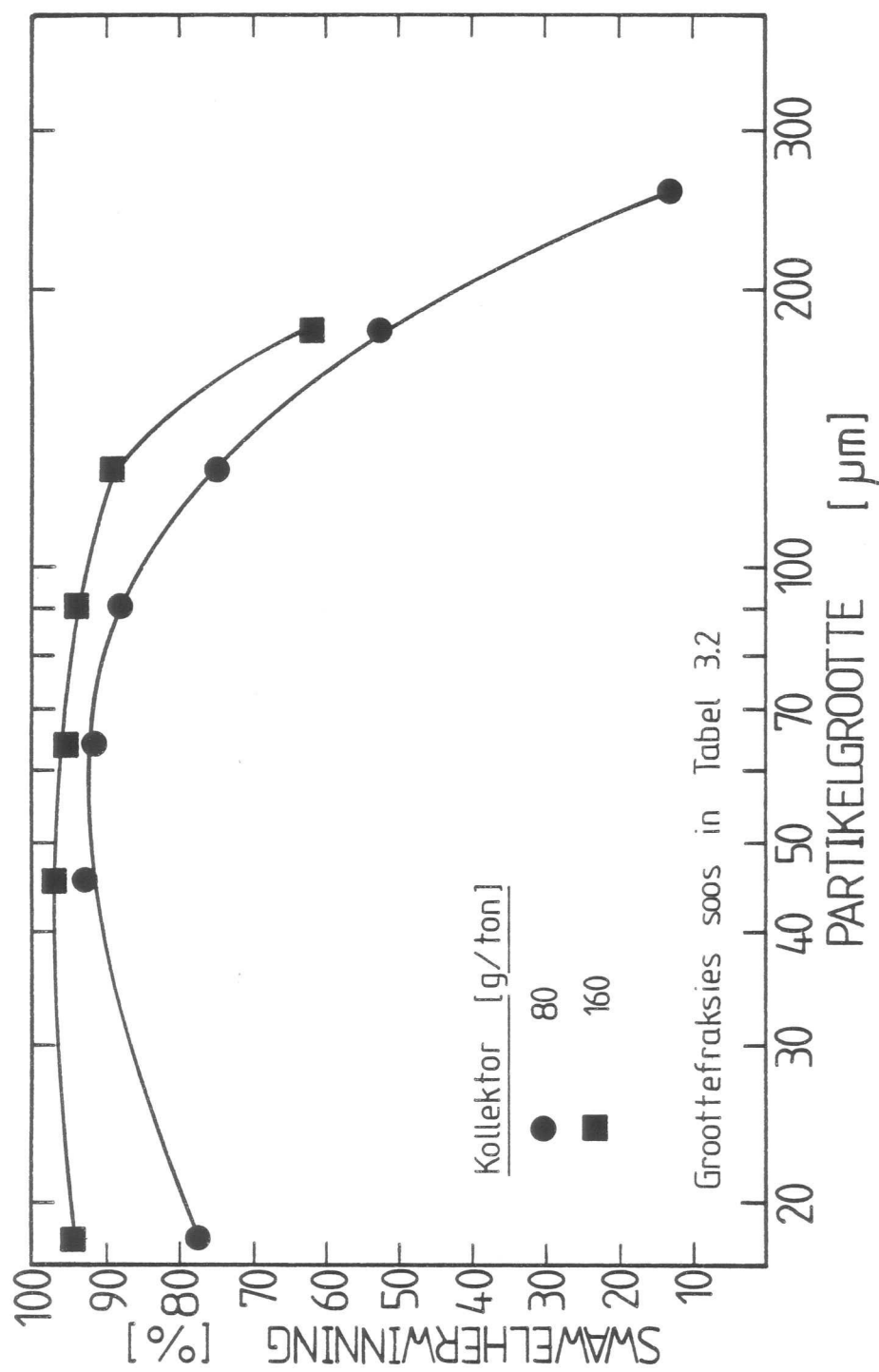


Fig. 5.17: Swaaiherwinning vir verskillende partikelgroottes en by twee kollektorkonsentrasies. Massa % vastestof in toevoer = 30%. Koniese voetstukring (A);  $\phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Skuimmiddelkonsentrasie = 50 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min. Floddertoevoer = 42,5 l/min.

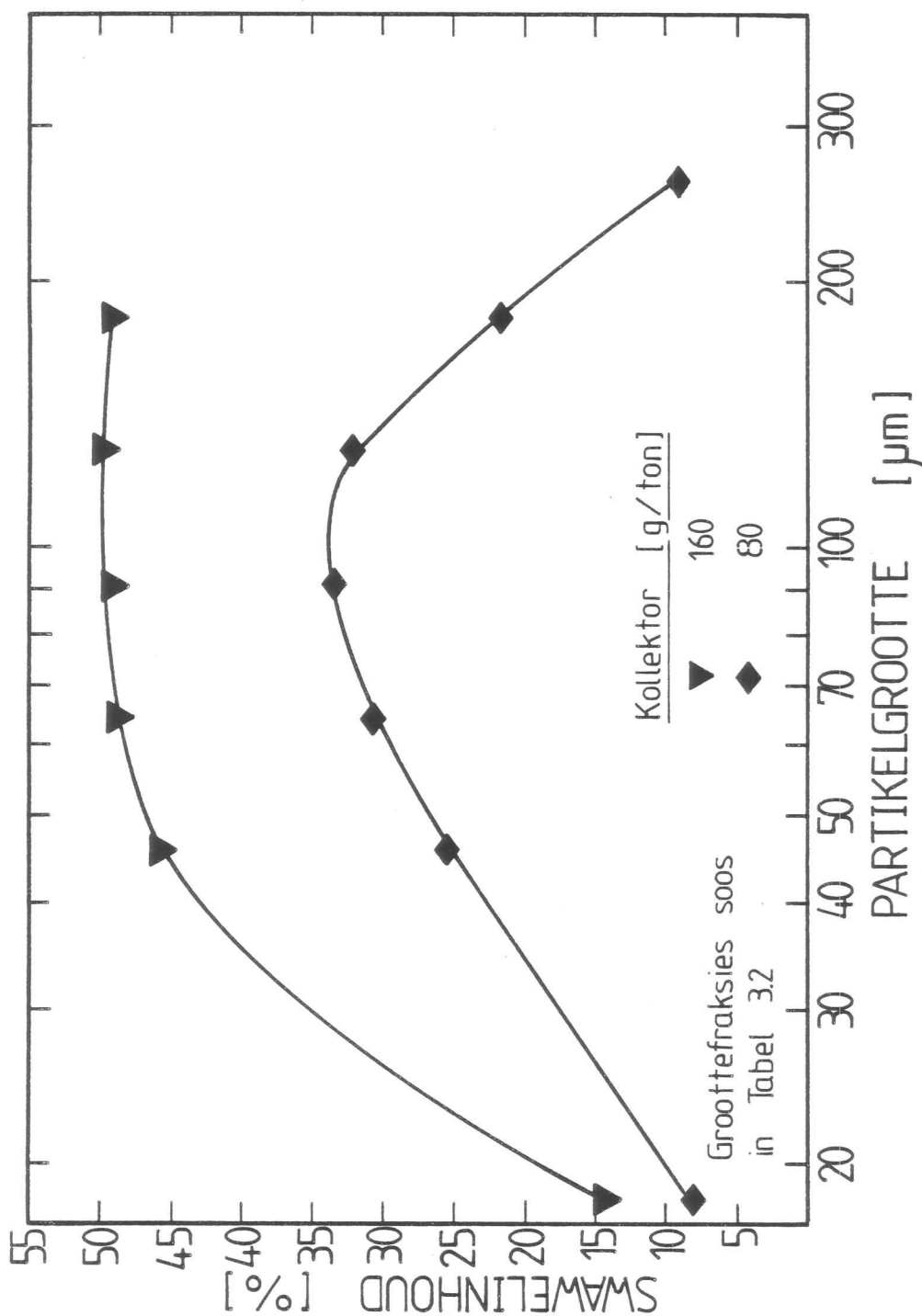


Fig. 5.18: Swawelinhoud van verskillende partikelgroottes en by twee kollektorkonsentrasies. Massa % vastestof in toevoer = 30%. Koniese voetstukring (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Skuimiddelkonsentrasie = 50 mg/l. Lugtoevoer = 205 l/min. Flodder-toevoer = 42,5 l/min.

## 6. INVLOED VAN LUGTOEVOER, FLODDERDIGTHEID EN FISIESE BEDRIYFSVERANDERLIKES

### 6.1 Lugtoevoer

#### 6.1.1 Totale herwinning en swawelinhoud van die konsentraat

Lugtoevoer is 'n primêre veranderlike waarmee die mate van turbulensie, die grootte van die gevormde lugborrels<sup>(30)</sup> en die waterverdeling beheer kan word. Figure 4.1 tot 4.4 het reeds getoon hoedat dit die verdeling van water kan beïnvloed. Indien vastestof nou as tweede fase saam met die water in die hidrosikloon gevoer word, word die sisteem onmiddellik meer kompleks omdat die viskositeit van die vloeistof (en dus die dikte van die waterlaag) sowel as die beperking van die annulêre opening deur vastestofpartikels beïnvloed word.

Die bespreking word nou voortgesit deur verder te verwys na figure 6.1 tot 6.7. Die poli-etileen voetstuk met 15 mm mondstuk is weer eens gebruik.

Dit is moeilik om 'n eksakte uitspraak te lewer aangaande die herwinning van swawel in die floddertoevoer-gebied laer as 40 liter per minuut (fig. 6.1). Vir voertempo's hoër as 40 liter per minuut is die herwinning beter by hoër lugtoevoertempo's indien 'n flodder met 10 massa % vastestof gebruik word. Die swawelinhoud van die konsentraat verander volgens 'n spesifieke patroon (figure 6.2 en 6.3). Let nou op dat die skielike verandering in swawelinhoud by 'n floddervoertempo van tussen 30 en 35 liter per minuut minder prominent raak by hoër lugtoevoertempo's.

Hierdie skielike verandering in swawelinhoud is reeds twee keer genoem (seksies 5.1.1 en 5.2) en verdien nou meer aandag. Die indruk kan miskien geskep word dat te veel

waarde aan een eksperimentele datapunt geheg word, maar die sekerheid van sodanige punte word versterk indien die volgende in gedagte gehou word:

Die genoemde tendens word herhaalde male waargeneem (soos bv. figure 5.1, 5.11, 5.12, 5.16, 6.2 en 6.3). In die tweede plek word uit massabalans (sien bylaag C) bevestig dat hierdie punte wel geldig is deurdat die flodderdigtheid en swawelinhoud van die toevoerstroam met dié van die bovloei en ondervloei gekontroleer kan word. Afsien van die feit dat eksperimentele afwykings beslis 'n rol kan speel, word dit verkies om die kurwes spesifiek volgens die datapunte te trek om sodoende 'n tendens wat in die geheel waargeneem word, te beklemtoon.

Hierdie tendens word nie in die literatuur<sup>(1,3,30,31,32)</sup> genoem nie en daar kan verskeie redes wees hiervoor. 'n Fyner partikelgrootteverspreiding is in vroeëre navorsing<sup>(1)</sup> gebruik. Dit sal later blyk dat fyner partikels minder bydra tot die skerp tendens. Die grootte van die in- en uitlaatopeninge van die hidrosikloon kan 'n rol speel en dit is so dat hierdie dimensies nie presies dieselfde as by ander navorsingsprojekte<sup>(34)</sup> was nie.

Aangesien hier waargeneem word dat 'n lugtoevoer van 230 l/min veroorsaak dat daar (anders as by 140 l/min lugtoevoer) geen drastiese verandering in die swawelinhoud (oor 'n klein floddertoevoer-gebied) voorkom nie (fig. 6.2), kan die bekende invloed van lugtoevoer op die kolkende flodderlaag gebruik word om 'n moontlike verklaring te gee. Soos in figuur 4.4, word ook in figure 6.4 en 6.5 getoon dat die punt van minimum waterherwinning by hoër floddertoevoertempo's voorkom indien die lugtoevoer verhoog word.

Dit is egter interessant om te let dat, anders as vir toetse met suiwer water (fig. 4.4), waterherwinning hoër is by die

laer lugtoevoertempo's en 'n floddertoevoer van 60 liter per minuut. Die teenwoordigheid van skuimmiddel en vastestof moet dus op een of ander manier hiervoor verantwoordelik wees.

Beide vastestof en skuimmiddel behoort die dikte van die kolkende vloeistoflaag teen die poreuse wand te vergroot. Waterherwinning sal dus verhoog terwyl die punt van minimum waterherwinning weens die teenwoordigheid van skuimmiddel by 'n hoër floddertoevoer voorkom (soos verduidelik aan die hand van figure 4.1 en 4.7). Dit word hier ook weer bewys deurdat die minimum-punt by 'n lugtoevoer van 140 l/min skuif vanaf 26 liter flodder per minuut (fig. 4.4) na 34 liter flodder per minuut (fig. 6.4).

Die oorgrootte meerderheid van die vastestof (85% tot 97%) word deur die annulêre uitlaat na die ondervloei gedwing. Dit beperk natuurlik die persentasie water wat na onder kan gaan. As nou aangeneem word dat 'n hoër lugtoevoer die sentrifugale aksie ietwat verlaag en turbulensie verhoog, kan verwag word dat 'n meer "stabiele" vloeistofgebied teen die poreuse wand sal beweeg by laer lugtoevoertempo's. 'n Hoë floddervoer gaan gepaard met hoë sentrifugale kragte, sowel as 'n hoë vastestof-uitvloei deur die annulêre opening. Dit kan wees dat 'n meer turbulente fase (met ietwat laer sentrifugale kragte) 'n groter persentasie van die lug en water toelaat om deur die annulêre opening te vloei om sodoende 'n hoër waterherwinning te inisieer by laer lugtoevoertempo's. Die beperking wat die uitvloei-openinge op die bedryf van die hidrosikloon stel, word minder prominent by laer floddervoertempo's en daar word dan meer spesifiek staatgemaak op die effektiewe sleepkrag van lugvloei op die flodderfase om water en partikels na die bovloei te voer. Hierdie is duidelik uit figure 6.4 en 6.5 waar waterherwinning hoër is by hoër lugtoevoertempo's en lae floddervoertempo's.

Beskou nou figure 6.6 en 6.7. Die herwinning van vastestof toon 'n skerp fluktuasie in die floddertoevoer-gebied tussen 28 en 35 liter per minuut indien laer lugtoevoertempo's (fig. 6.6) gebruik word. Hierdie fluktuasie is reeds in figure 5.14 en 5.15 waargeneem en is primêr verantwoordelik vir die skerp tendens wat in die kurwes vir swawelinhoud voorkom.

Figure 4.8 tot 4.10 het reeds getoon dat die +38 mikron partikels feitlik almal na die ondervloei beweeg indien 'n floddertoevoer hoër as 35 liter per minuut gebruik is. (Onthou dat die lugtoevoer hier 200 l/min was.) Verder het hierdie "snypunt" min of meer by die punt van minimum waterherwinning voorgekom. Dit wil nou blyk dat hierdie "snypunt" minder prominent raak (of verskuif) na gelang van die hidrofobisiteit van die partikels (figure 5.11 tot 5.15) en die inwaartse sleepkrag van die lugborrels (figure 6.2 tot 6.7). Wat dus gebeur, is dat daar 'n meer geleidelike afname in die herwinning van growwe partikels is hoe meer daar afgewyk word van die toestand waar instromende lugborrels 'n klein invloed op sodanige partikels het.

Hierdie verduideliking is slegs 'n gedeeltelike verklaring van wat werklik gebeur. Die interaktiewe rol van voetstukdeursnit, kolkvinderdeursnit, lugtoevoer en partikelgrootte-verdeling maak 'n eksakte verklaring uiters moeilik en kompleks. Skuimmiddelbyvoeging het skynbaar nie 'n groot invloed op bogenoemde fluktuasie nie (figure 5.1 en 5.3 tot 5.5 bewys dit). Die voetstukkonfigurasie het wel 'n invloed, aangesien toetse in figure 5.12 en 6.3 (vir 205 en 200 l/min lugtoevoer respektiewelik en 'n kollektorinhoud van 160 d.p.m.) basies dieselfde was behalwe dat die koniese voetstuk (A) in eersgenoemde geval gebruik is. 'n Baie meer prominente fluktuasie is tydens gebruik van hierdie voetstuk waargeneem as in die geval waar die poli-etileen voetstuk gebruik is.

### 6.1.2 Herwinning van verskillende groottefraksies

'n Kort verduideliking word aan die hand van resultate by 140 en 230 l/min lugtoevoer gegee (figure 6.8 tot 6.12). Soos by figuur 5.6 blyk dit dat die beste flottasie in die -75+38 mikron groottefraksie (fig. 6.9) voorkom. Die invloed van floddertoevoer word nou duidelik waargeneem en stem ooreen met bevindinge van Kinneberg en Miller<sup>(1)</sup>.

Die maksimum herwinning van +150 mikron partikels (fig. 6.8) word gevind by toestande van minimum turbulensie en maksimum retensietyd - dus by die laagste floddertoevoertempo's. Hierdie punt van maksimum herwinning skuif geleidelik na regs hoe fyner die partikels word (figure 6.8 en 6.9). Dit bewys weer eens dat die hoër traagheid by hoë sentrifugale kragte die botsingseffektiwiteit<sup>(5,9,10,11)</sup> van fyn partikels verhoog en dat die hoër skuifkragte deur hierdie effek gedomineer word.

'n Verandering in lugtoevoer beïnvloed die herwinning van al die groottefraksies op dieselfde manier. Beskou nou eers die floddertoevoer-gebied tussen 35 en 50 liter per minuut. Hier is dit duidelik dat hoër turbulensie by 'n hoë lugtoevoer verantwoordelik is vir meesleuring van ongewenste hidrofiliese partikels met die gepaardgaande daling in swawelinhoud van die konsentraat (figure 6.10 tot 6.12). Let egter op dat die swawelinhoud van +150 mikron partikels hoër is by 'n hoë lugtoevoer van 230 l/min en flodder-voertempo's hoër as 50 liter per minuut. Wat hier gebeur, is dat slegs die uiters hidrofobiese pirietpartikels die hoër skuifkragte (tydens hoër turbulensie by 230 l/min) kan oorkom, sodat die swawelgraad van +150 mikron partikels toeneem met toename in lugtoevoer by hoë sentrifugale kragte.

Die skielike fluktuasie in swawelinhoud (by lugtoevoer van 140 l/min en floddertoevoer van 30 liter per minuut) word



waargeneem by al die groottefraksies growwer as 38 mikron, maar is meer prominent vir die growwe partikels. Die sogenaamde snypunt (soos by figure 4.8 tot 4.10 waargeneem) word hier weer beklemtoon deur die -38 mikron fraksie wat deurgaans 'n meer geleidelike toename in swawelinhoud toon as die +38 mikron fraksies.

## 6.2 Flodderdigtheid

### 6.2.1 Totale herwinning en swawelinhoud

Kinneberg en Miller<sup>(1)</sup> het gevind dat die herwinning van koper toeneem tydens flottasie by 'n hoër flodderdigtheid. Dit was weens 'n hoër viskositeit van die flodder wat 'n dikker vloeistoflaag teen die wand tot gevolg gehad het.

Figuur 6.13 bevestig dat dit ook geld vir flottasie van 'n growwe pirieterts. 'n Totale herwinning van so hoog as 92 persent word verkry tydens flottasie van 'n 45 massa % flodder. Die swawelinhoud neem egter dienooreenkomstig af na ongeveer 22 persent by maksimum herwinning. Volgens Kinneberg en Miller<sup>(1)</sup> kan verwag word dat die hoër vastestofinhoud die hoë turbulente effek demp sodat skuifkragte op growwe partikels baie verlaag.

Afgesien van 'n hoër viskositeit en laer turbulensie, geld ook dat die uitvloei van vastestofpartikels deur die annulus aansienlik hoër is vir 45 massa % flodders as vir 10 massa % flodders. Die uitvloei na onder word derhalwe meer gesmoor, sodat 'n hoër persentasie uitvloei na bo 'n logiese gevolg is. Figuur 6.14 toon duidelik dat beide die vastestof- en waterherwinning hoër is vir 'n hoë flodderdigtheid - veral by hoë toevoertempo's.

Hier kan ook weer terug verwys word na figuur 5.16 tot 5.18 waar 'n 30 massa % flodder met die koniese voetstuk (A)

getoets is vir die invloed van kollektor. Let op dat die voetstukdiepte hier verlaag is na 34 mm en dus nie dieselfde is as vir toetse in figure 5.10 tot 5.15 (10 massa % flodder) waar 'n diepte van 50,9 mm gebruik is nie. 'n Hoë swawelinhoud van 40% is dan wel moontlik soos getoon word by 'n kollektorkonsentrasie van 160 dele per miljoen.

Deur die herwinningskurwes vir 'n 30 massa % flodder by die lugtoevoertempo's te vergelyk (figure 6.13 en 6.15), kan nie 'n baie groot verskil opgemerk word nie. Die maksimum herwinning van 90% by lugvoertempo's van 200 en 230 l/min is ietwat swakker as die 91% by 140 l/min. Dieselfde tendense word vir die swawelinhoud waargeneem, soos wat reeds vroeër beskryf is (vergelyk figure 6.13 en 6.15 met figure 6.2 en 6.3).

#### 6.2.2 Herwinning van verskillende groottefraksies

Resultate van 'n 30 massa % flodder kan nou weer vergelyk word met die in figure 6.8 tot 6.12 en presies dieselfde tendense word waargeneem. 'n Eksperiment gedoen met koniese voetstuk (A) wat die silinder met 34 mm binnedring (effektiewe deursnee = 49 mm) is gebruik om die verskillende groottefraksies te ondersoek. Die kollektorkonsentrasie was 80 dele per miljoen (fig. 6.16 en fig. 6.17).

'n Duidelike verskuiwing van die maksimum swawelherwinning vanaf lae na hoër toevoertempo's kom voor soos na fyner partikelgroottes beweeg word (fig. 6.18). Die -53+38 mikron fraksie flotter die beste. Hier word ook weer bewys dat die fyner fraksies beslis 'n kleiner fluktuasie van die swawelinhoud toon by 'n floddervoertempo van ongeveer 35 l/min (figure 6.19 en 6.20). Hierdie neiging is sodanig dat die -38 fraksie ongeveer 'n lineêre verband toon tussen swawelinhoud en floddertoevoer. (Vergelyk ook figuur 6.10 by 'n lugtoevoer van 230 l/min.)

Figuur 6.18 toon dat swawelherwinning 'n maksimum bereik by 'n partikelgrootte van 38 mikron en dat groter en kleiner partikels laer herwinnings lewer, soos ook waargeneem in figuur 5.17. Die onverwagte hoë herwinnings van die -38 mikron fraksie by hoë floddervoertempo's kan moontlik veroorsaak word deur 'n verhoogde botsingswaarskynlikheid. Figure 6.19 en 6.20 bevestig die waarneming in figure 5.18 dat 'n partikelgrootte van 106 mikron 'n maksimum swawelinhoud in die konsentraat lewer. Partikelgroottes kleiner as 106 mikron lewer progressief laer swawelinhoude terwyl partikels groter as 106 mikron 'n afname in swawelinhoud lewer met toename in partikelgrootte.

Wat hierdie erts betref, het slegs 11% van die swawel in die -38 mikron fraksie voorgekom, sodat die totale swawelinhoud van die konsentraat in 'n groot mate deur die growwe partikels beïnvloed is. Die erts gebruik deur Kinneberg en Miller<sup>(1)</sup> was fyn genoeg sodat veertig persent van die koper in die -38 mikron fraksie vervat was. Hierdie is een moontlike rede waarom daar nooit melding gemaak word<sup>(1)</sup> van bogenoemde fluktuasies nie.

### 6.3 Fisiese bedryfsveranderlikes

#### 6.3.1 Voetstukverstelling

Die grootte van die annulêre opening is 'n bepalende parameter waarmee die swawelinhoud van die konsentraat verlaag of verhoog kan word (tot voordeel of ten koste van 'n hoër swawelherwinning). 'n Verstelling van 4 mm aan die voetstuk-diepte (koniese voetstuk A), met die gepaardgaande verandering in effektiewe deursnee vanaf 49,0 mm na 48,8 mm, het 'n merkbare verandering aan die swawelherwinning gemaak (fig. 6.16). Soos verwag, het die swawelinhoud ook toegeneem vir 'n kleiner voetstukdeursnee terwyl die herwinning van water en vastestof duidelik afgeneem het (fig. 6.17).

'n Verandering in die mondstukgrootte (15 en 13 mm) tydens gebruik van die poli-etileen voetstuk het wel 'n klein verskil aan die swawelinhoud en -herwinning gemaak, maar dit is veral die herwinning van water wat duidelik beïnvloed word (figure 6.21 en 6.22). Geen verstellings is aan die voetstukdeursnee self (46,5 mm) gemaak nie. Indien wel, sou 'n ander voetstuk-mondstuk kombinasie gebruik moes word om dieselfde resultate te verkry. Figuur 6.21 toon dat 'n effense verbetering in die swawelherwinning 'n onverwagse klein verbetering in die die swawelinhoud gelever het.

'n Progressiewe verandering in die deursnee van die poreuse silinder (sien seksie 3.2.2) beïnvloed nie net die sentrifugale kragte nie, maar is ook direk verantwoordelik vir 'n verandering in die grootte van die annulêre opening. Groot verliese kan dus gelei word indien sodanige verandering nie gou genoeg opgemerk word nie.

#### 6.3.2 Veranderings aan poreuse silinder

Hierdie is in der waarheid 'n ontwerpveranderlike, maar word nogtans kortliks bespreek. 'n Versterking van keramieksilinder deur invoeging van poli-etileen stukke (fig. 3.6) het onder andere verseker dat 'n konstante annulêre opening gehandhaaf word, maar het die effektiewe flottasie-oppervlak verklein.

Twee eksperimentele lopies wat met 'n 10 massa % flodder gedoen is, het swak resultate gelever (fig. 6.23). Lugtoevoer het weer 'n meer prominente rol gespeel by die hoër floddervoertempo's. Tipiese resultate wat betref swawelherwinning en -inhoud word in figure 6.24, 6.25 en 6.26 gegee. Let verder op dat 'n voetstukdeursnee van 48,2 mm (mondstuk = 14 mm) nou gebruik is, omdat die deursnee van die beskadigde poreuse silinder groter as 50 mm was.

'n Kleiner lugoordrag-area moes uit die aard van die saak veroorsaak het dat die invloeisnelheid van lug hoër was vir hierdie versterkte silinder. Turbulensie sou dus toeneem - so ook die skuifkragte op growwe partikels. Verder het hierdie growwe partikels 'n lang residensietyd (en dus 'n groter flottasie-gebied) nodig, wat nie deur hierdie silinder verskaf word nie. Fyn partikels benodig 'n kort residensietyd en word heel moontlik minder beïnvloed deur sulke veranderinge aan die poreuse silinder. Die boonste 3 sentimeter van die silinder kan egter net as 'n gebied van klassifikasie funksioneer, omdat geen lug daar ingeborrel word nie en dit kan wel lei tot 'n verlaging in die effektiwiteit van flottasie van fyn partikels.

### 6.3.3 Lengte van die kolkvinder

Hier word verwys na figure 6.27 tot 6.29. Alle eksperimente wat in vorige seksies bespreek is, is gedoen met 'n kolkvinder-diepte van 50 mm (dieselfde as die deursnee van die hidrosikloon).

Effens beter swawelherwinnings word verkry by lengtes van 15 en 25 mm (beste by 25 mm). Die swawelinhoud van die konsentraat is beter vir die korter lengtes indien die floddertoevoer laer as 35 liter per minuut is, maar hierdie tendens verdwyn by voertempo's bo 35 liter per minuut (fig. 6.29). Dit word primêr veroorsaak deur die verandering in totale vastestofherwinning (fig. 6.29). Dit is interessant om te let dat die herwinning van water toeneem, maar vastestofherwinning afneem vir afnemende kolkvinderlengtes en 'n floddertoevoer laer as 35 liter per minuut. Met 'n korter kolkvinder verhoog die sentrifugale aksie waarskynlik in die gebied van die bovloei-onttrekking sodat minder partikels na die bovloei sal beweeg. Slegs die baie hidrofobiese (en fyner) partikels sal nou na die bovloei kan beweeg sodat die vastestof in die konsentraat merendeels uit

piriet bestaan. By hoë floddertoevoertempo's raak hierdie effek minder prominent omdat die sentrifugale kragte in die boonste gebied baie hoog is en omdat die hidrosikloon nader aan maksimum kapasiteit bedryf word.

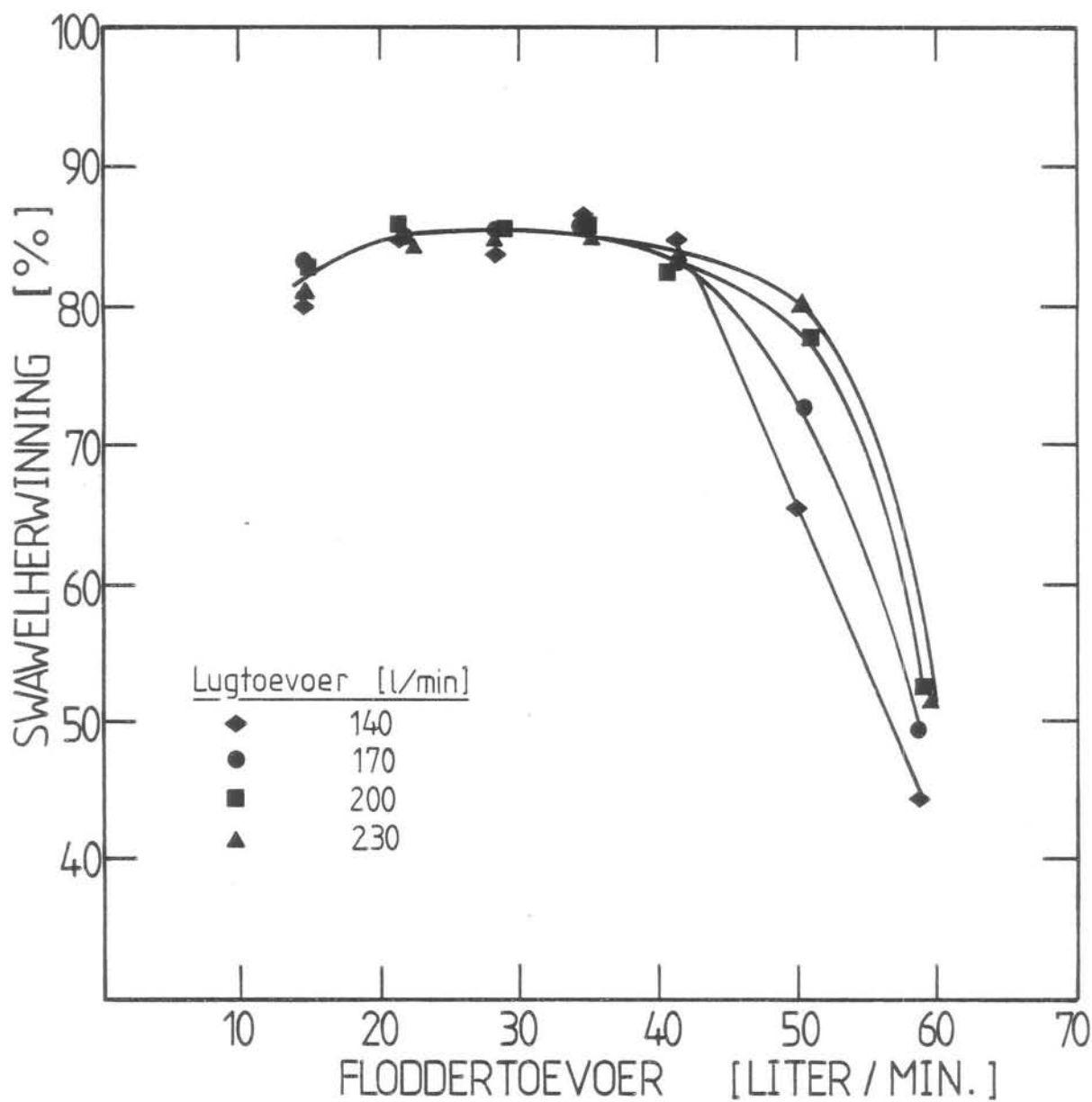


Fig. 6.1 : Swawelherwinning by vier lugtoevoertempo's.  
 Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160  
 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi$  = 46,5 mm,  
 mondstuk = 15 mm.

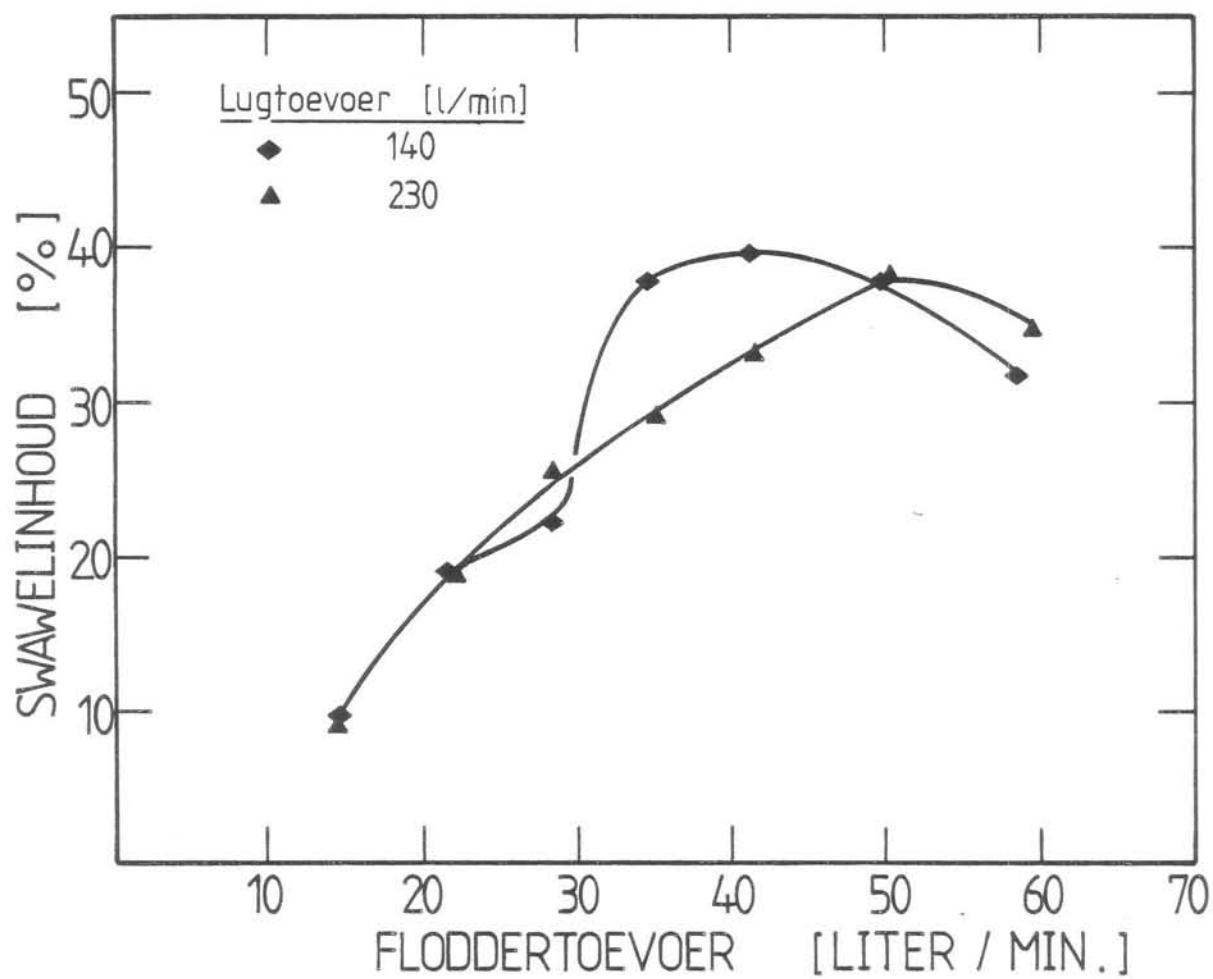


Fig. 6.2 : Swawelinhoud by twee lugtoevoertempo's.  
 Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160  
 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm,  
 mondstuk = 15 mm.



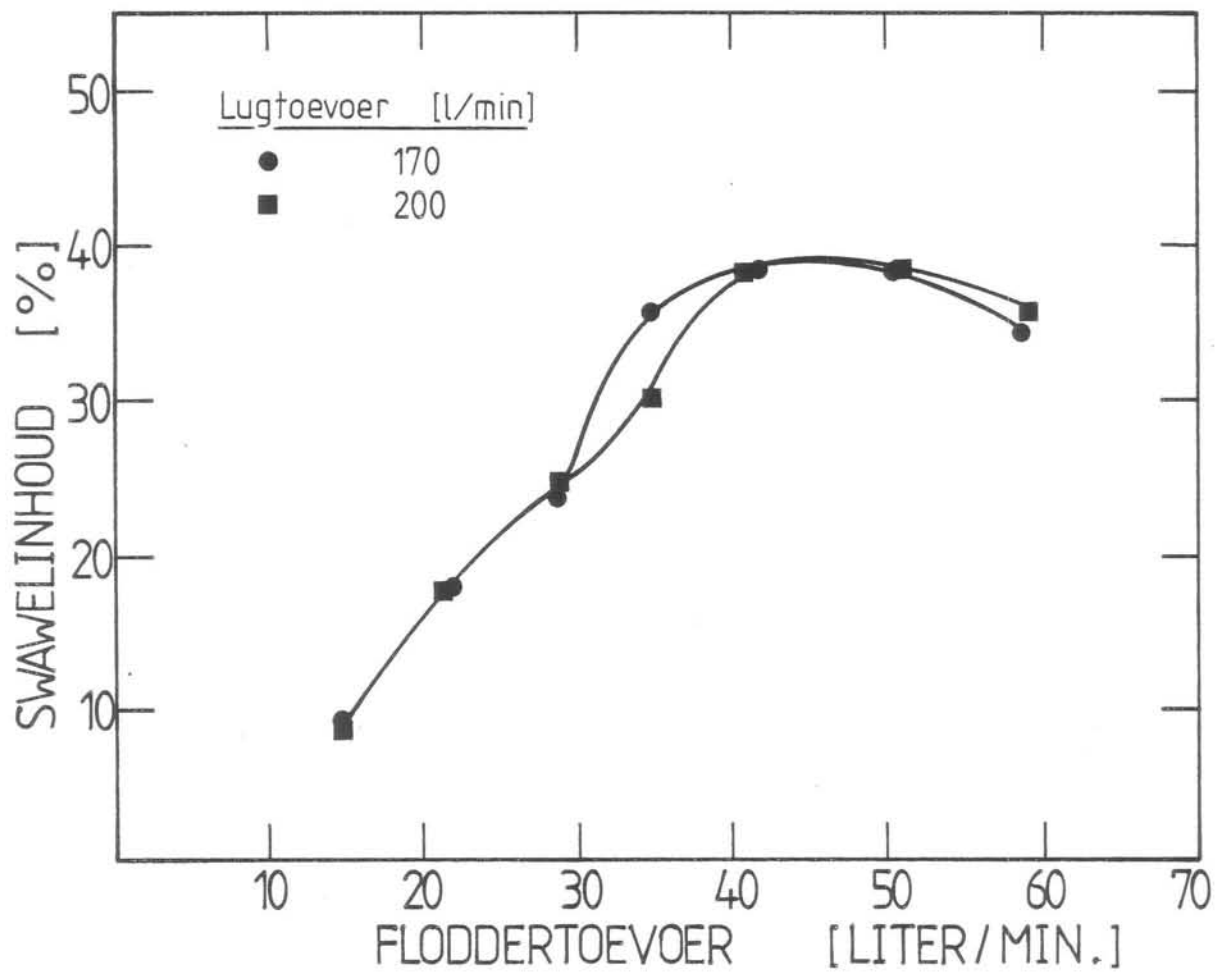


Fig. 6.3 : Swawelinhoud by twee lugtoevoertempo's.  
 Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

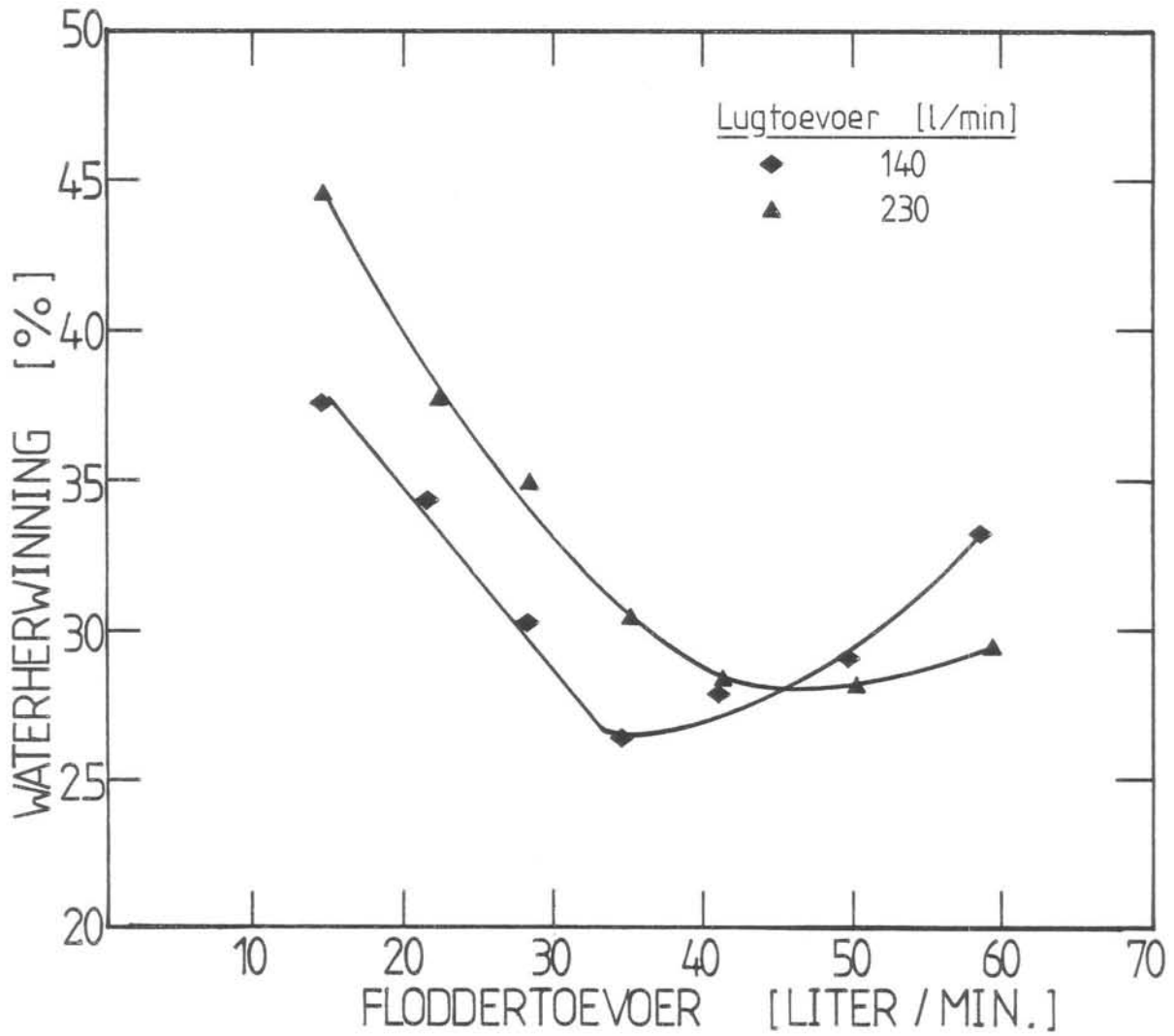


Fig. 6.4 : Waterherwinning in die bovloei by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

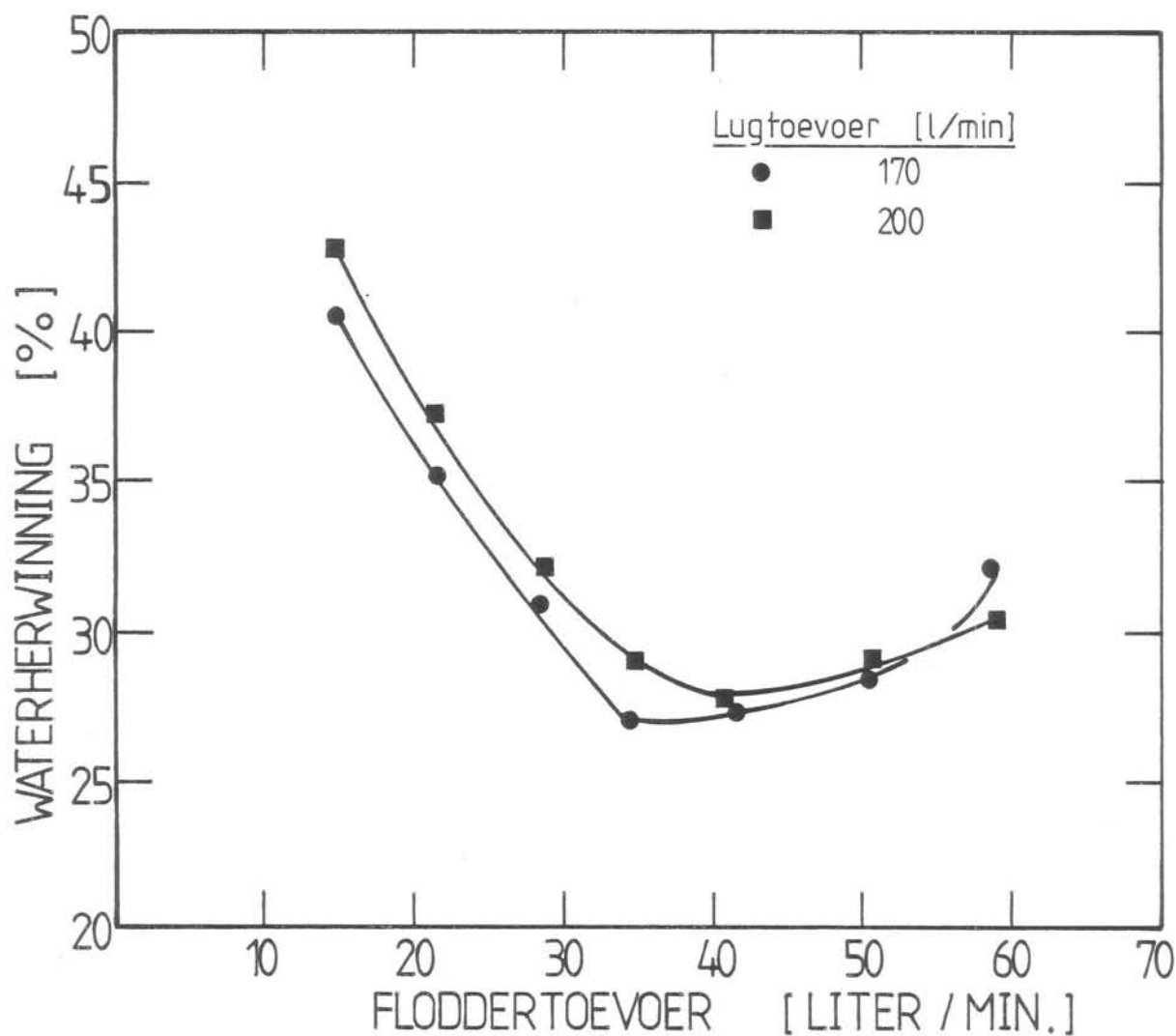


Fig. 6.5 : Waterherwinning in die bovloei by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

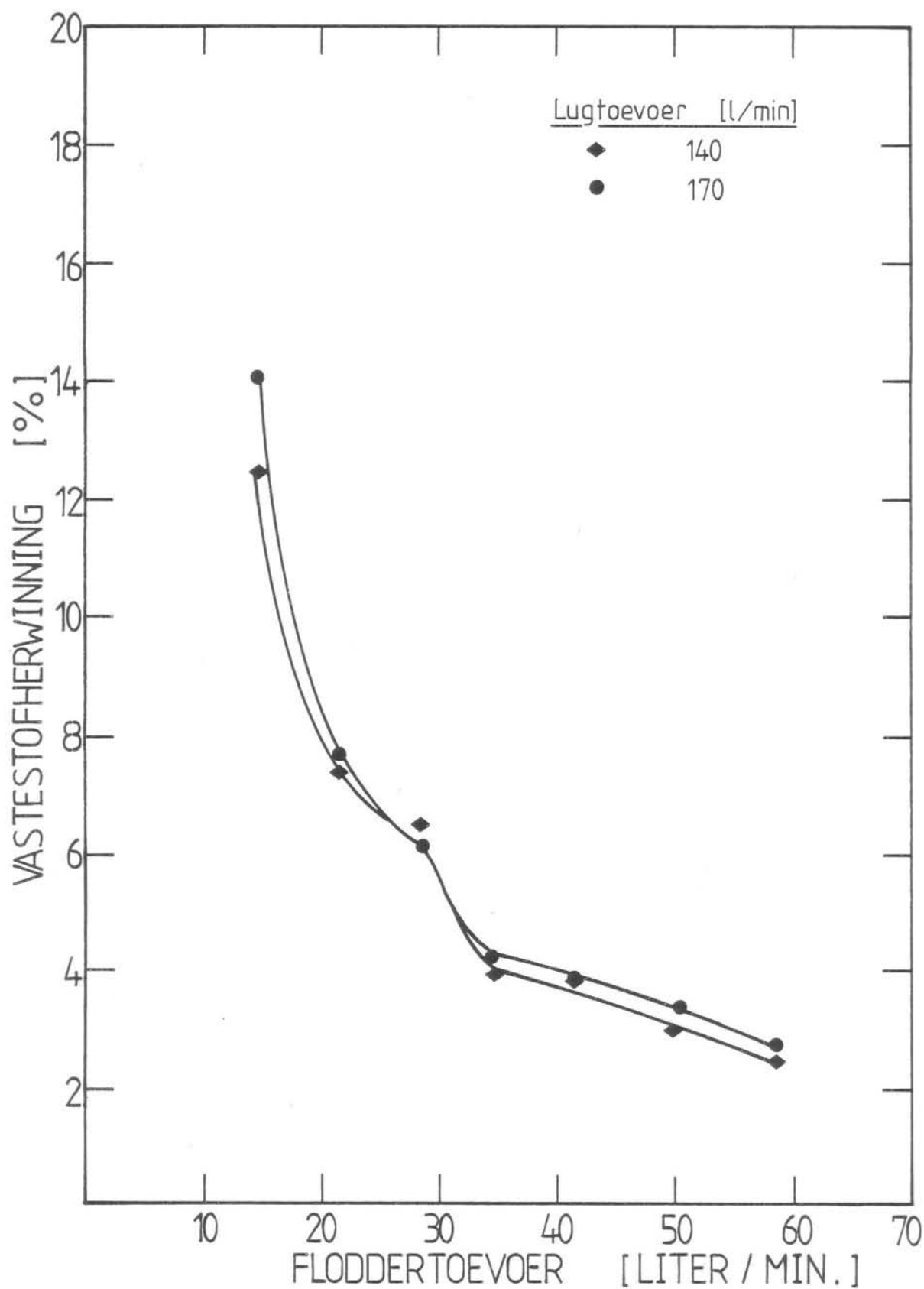


Fig. 6.6 : Vastestofherwinning in die bovloei by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

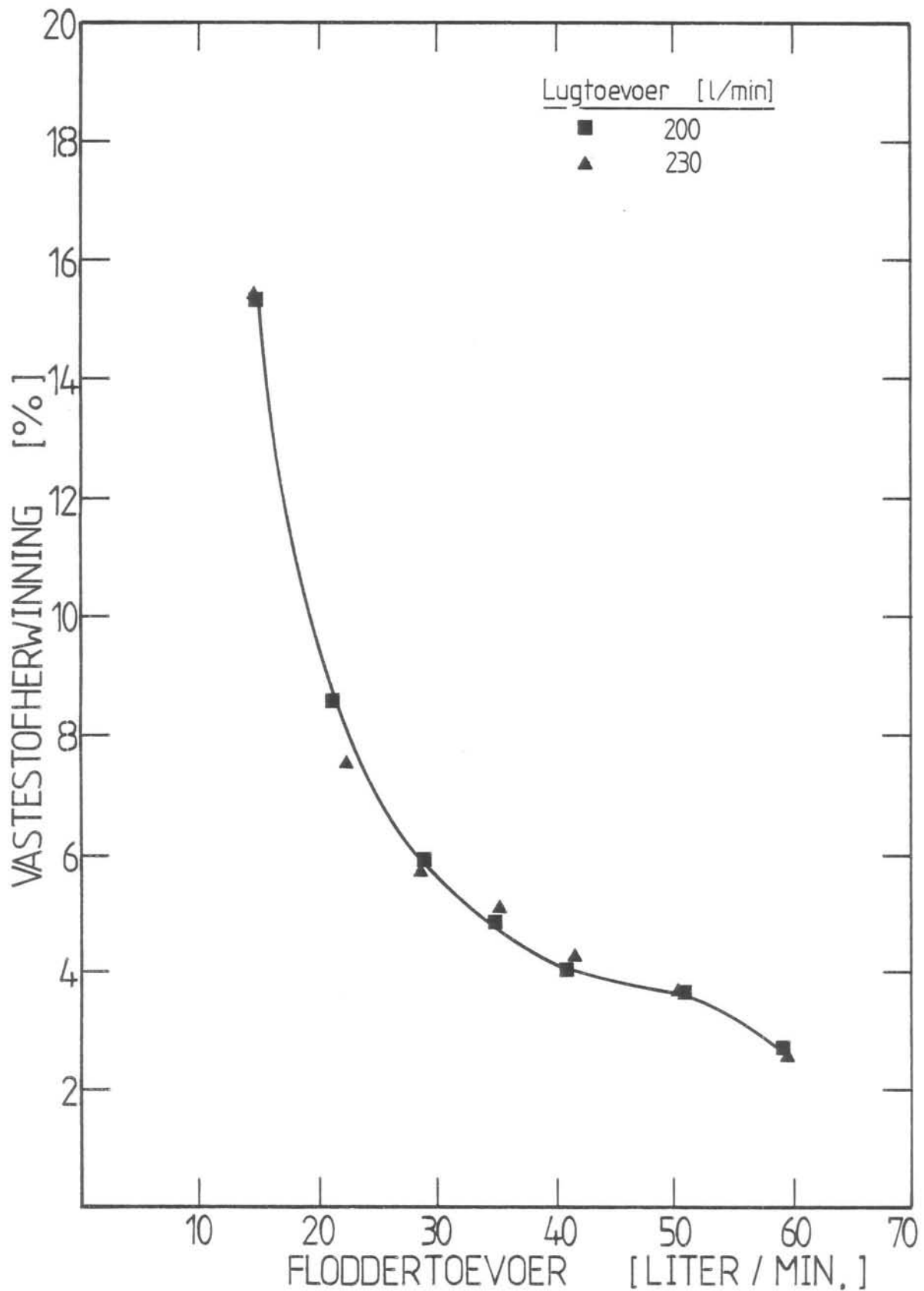


Fig. 6.7 : Vastestofherwinning in die bovloei by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

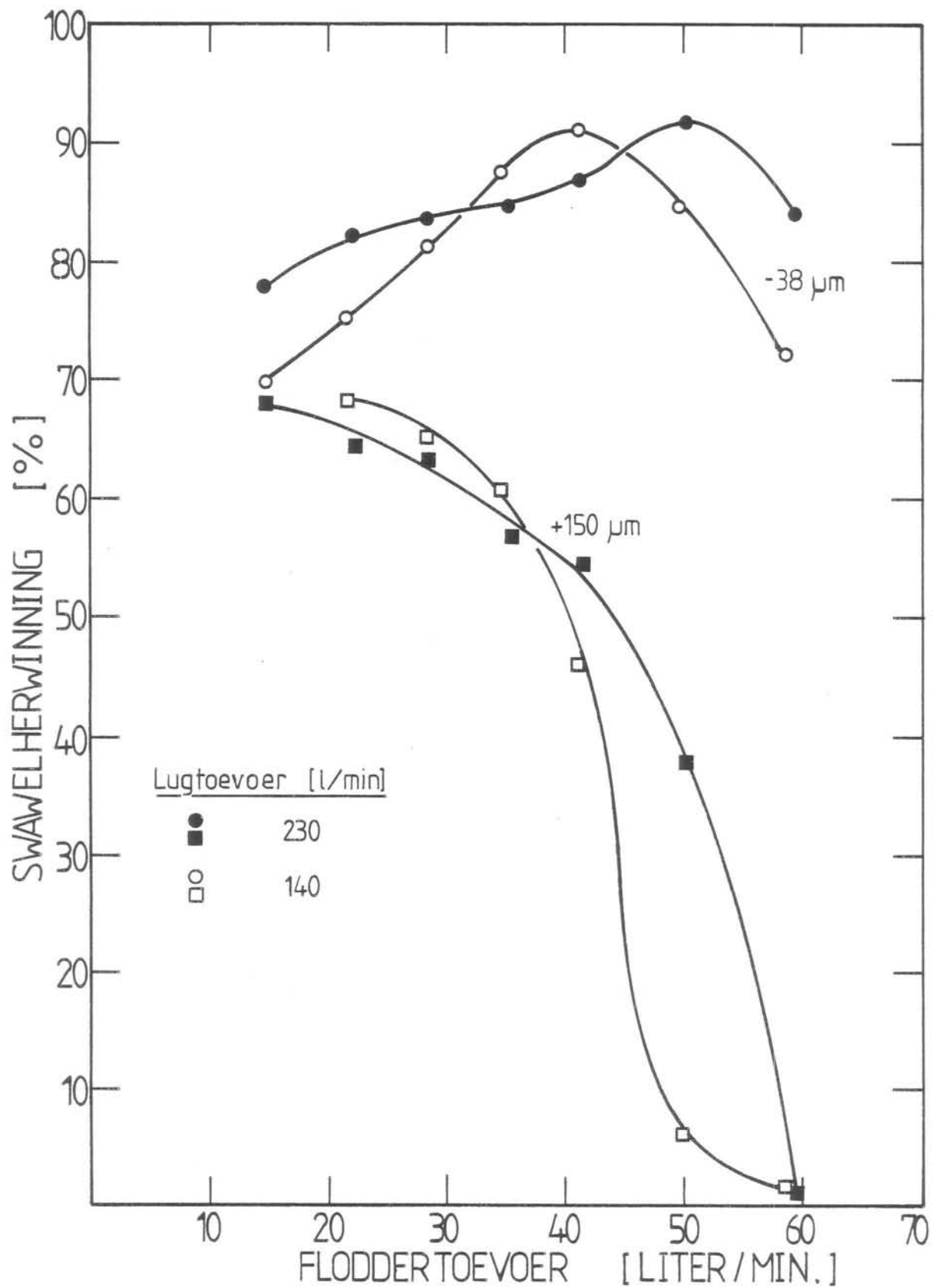


Fig. 6.8 : Swavelherwinning vir -38 en +150  $\mu\text{m}$  fraksies by twee lugtoevoertempo's. Skuim-middel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

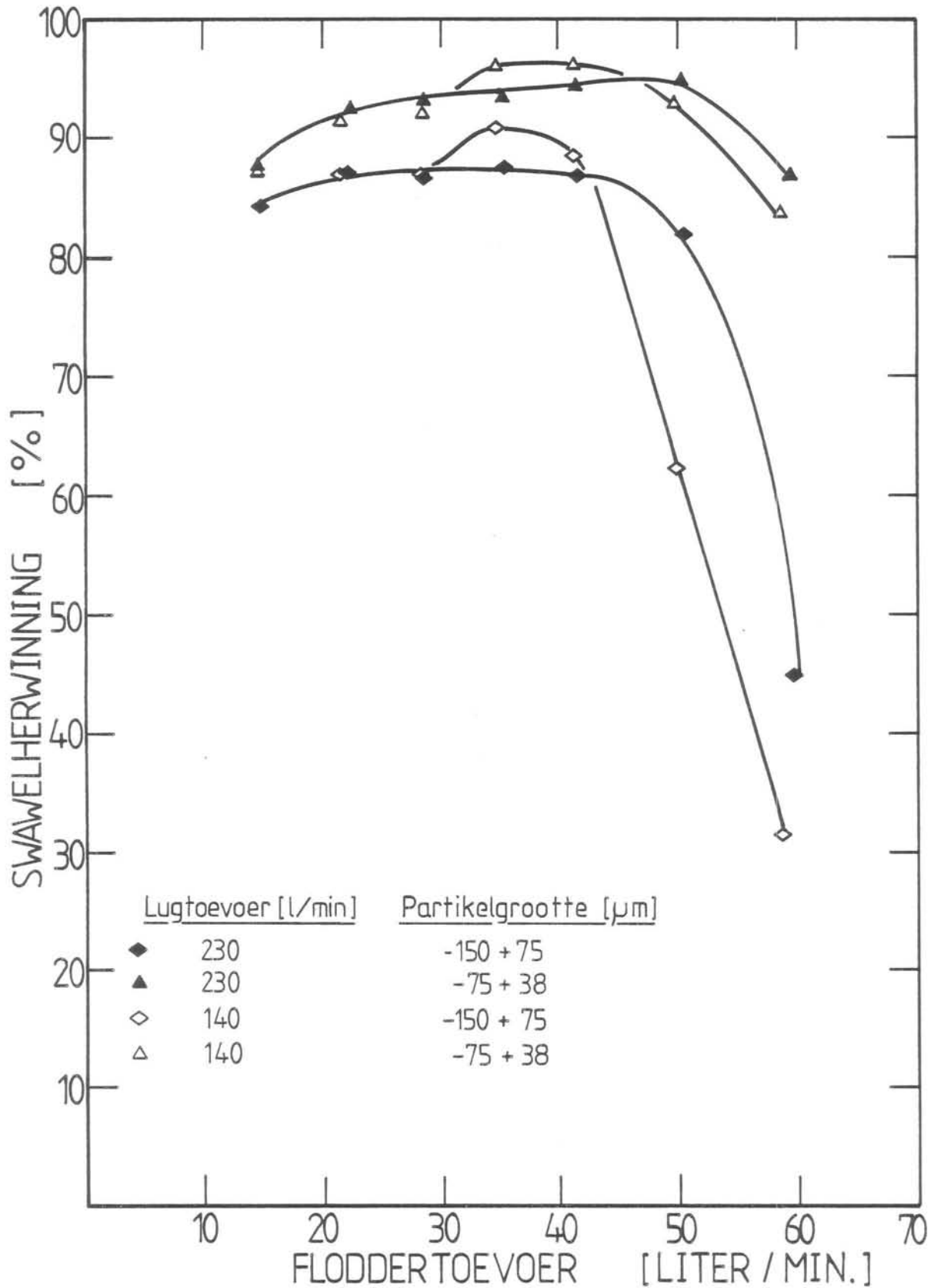


Fig. 6.9 : Swawelherwinning vir intermediêre groottefraksies, by twee lugtoevoertempo's.  
 Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

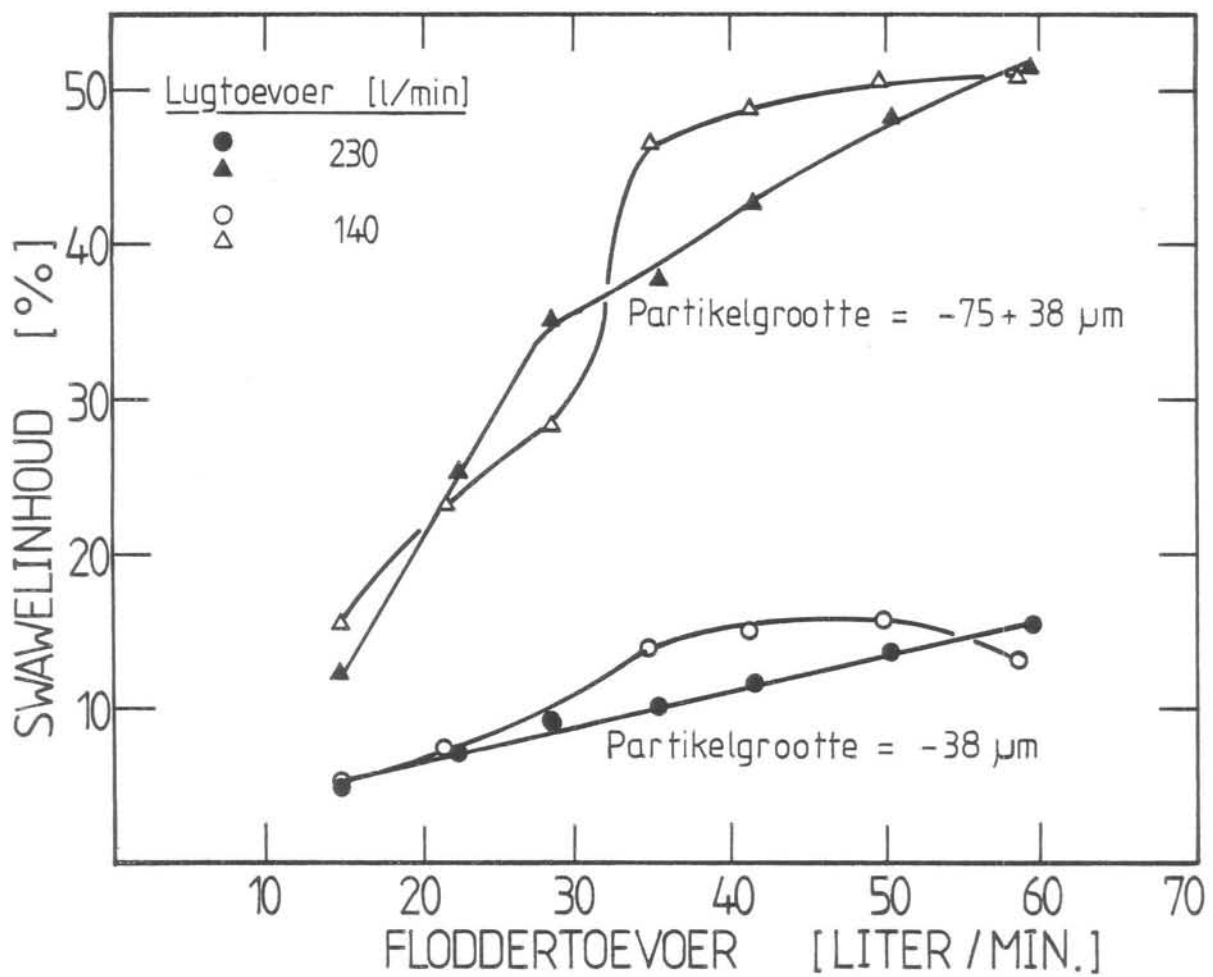


Fig. 6.10: Swawelinhoud van fyner groottefraksies, by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Polietileen voetstuk;  $\Phi = 46,5 \text{ mm}$ , mondstuk = 15 mm.



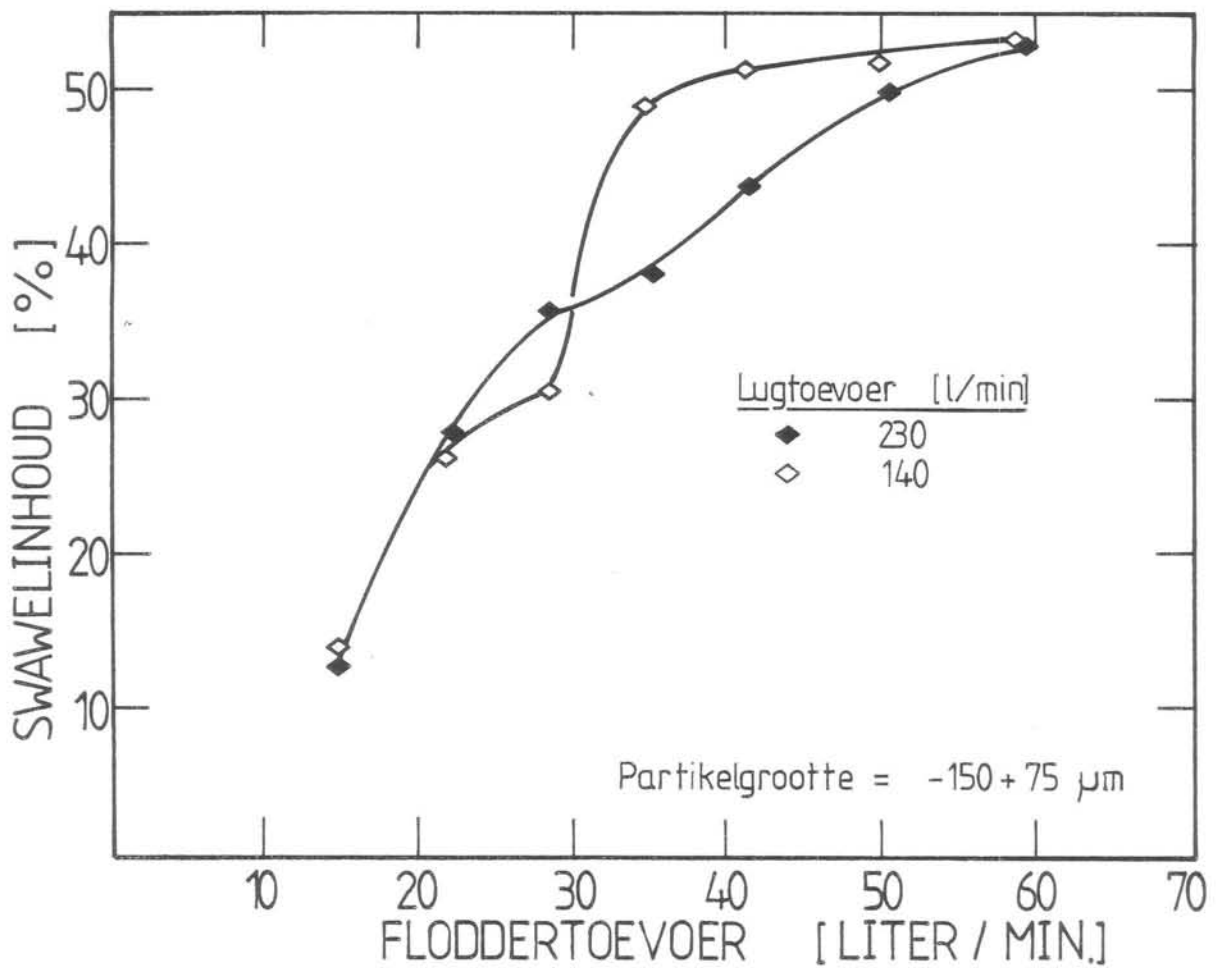


Fig. 6.11: Swawelinhoud van intermediêre grootte-fraksies, by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi$  = 46,5 mm, mondstuk = 15 mm.

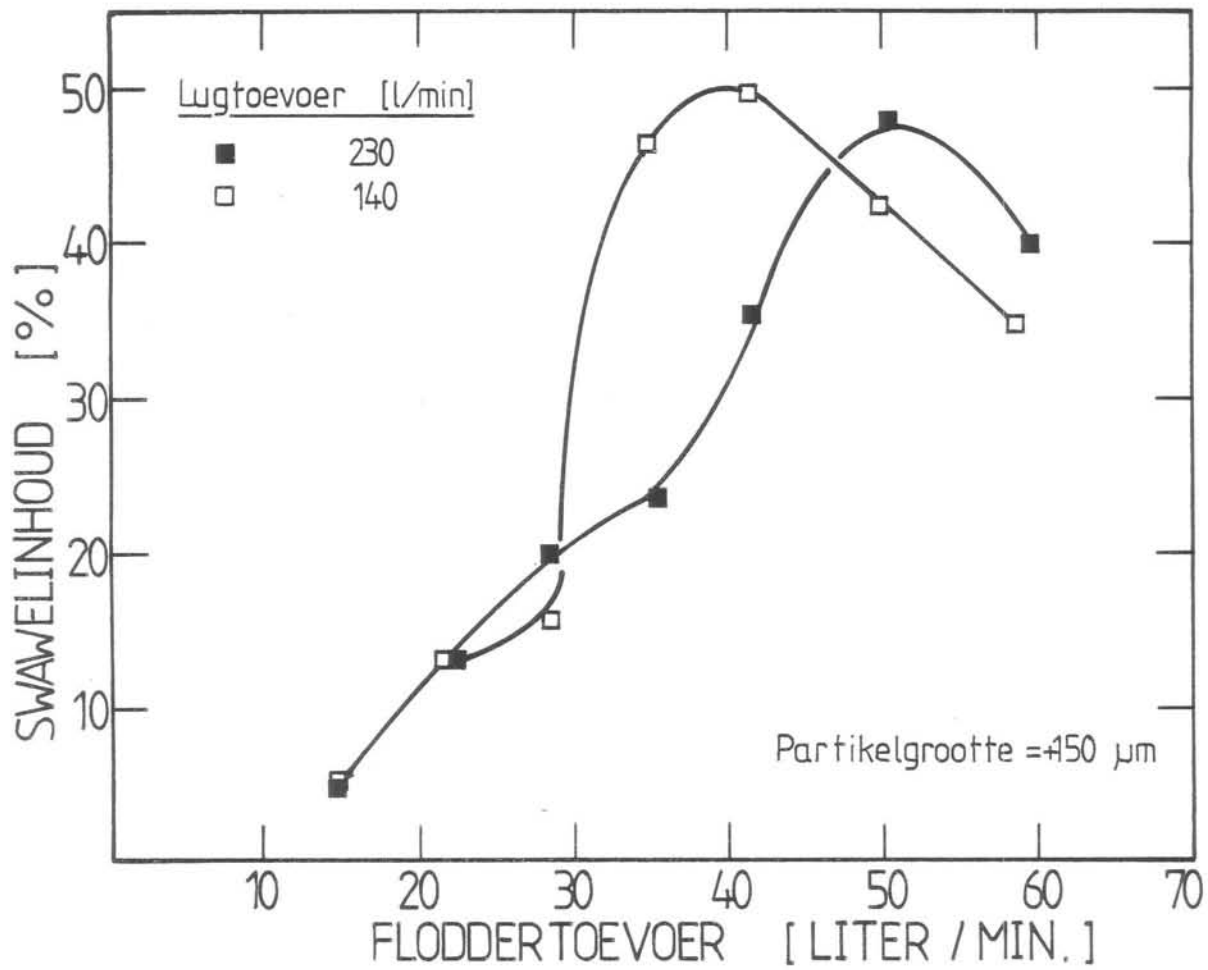


Fig. 6.12: Swawelinhoud van growwe groottefraksies, by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.

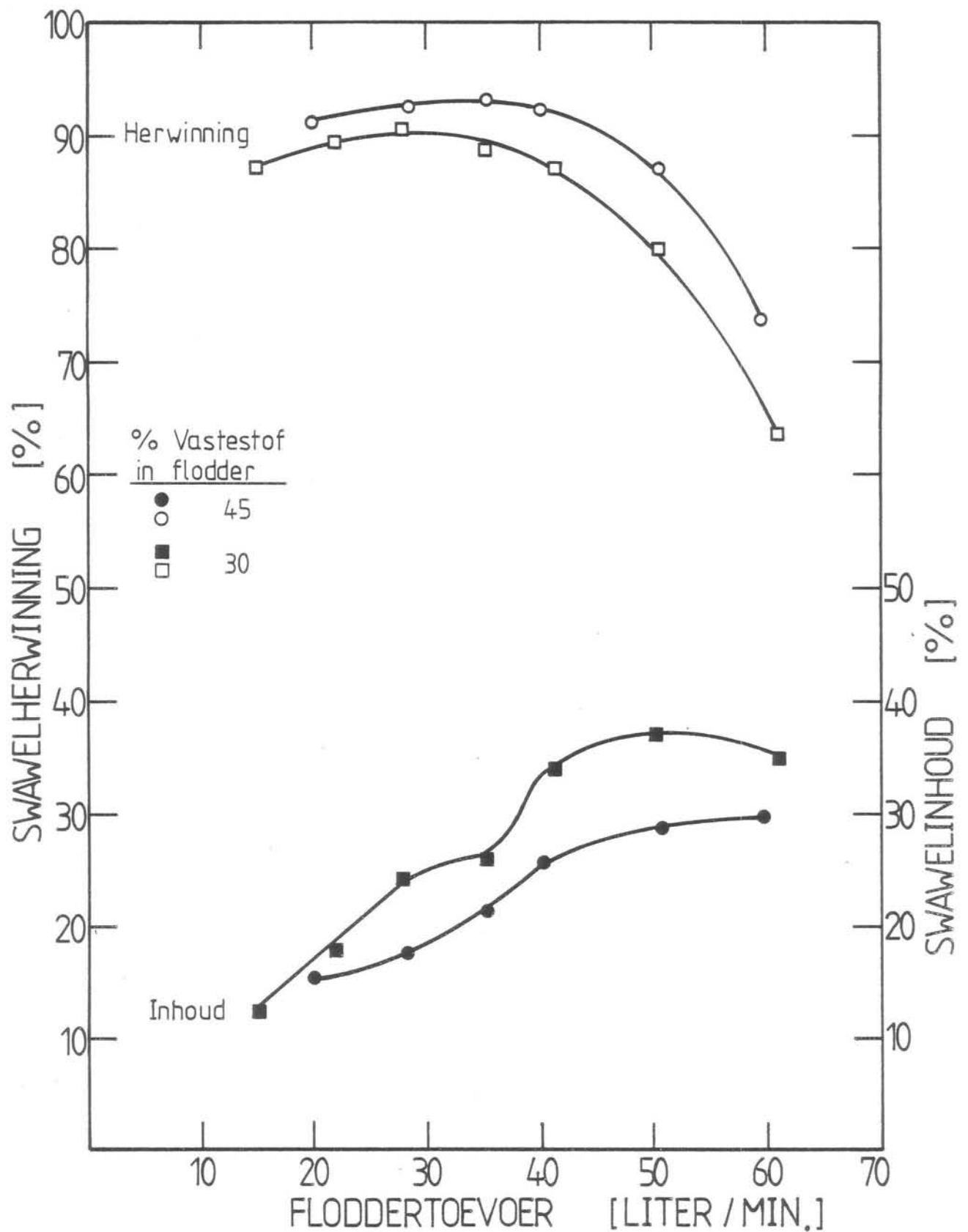


Fig. 6.13: Swawelherwinning en -inhoud by hoë flodderdigthede. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min.

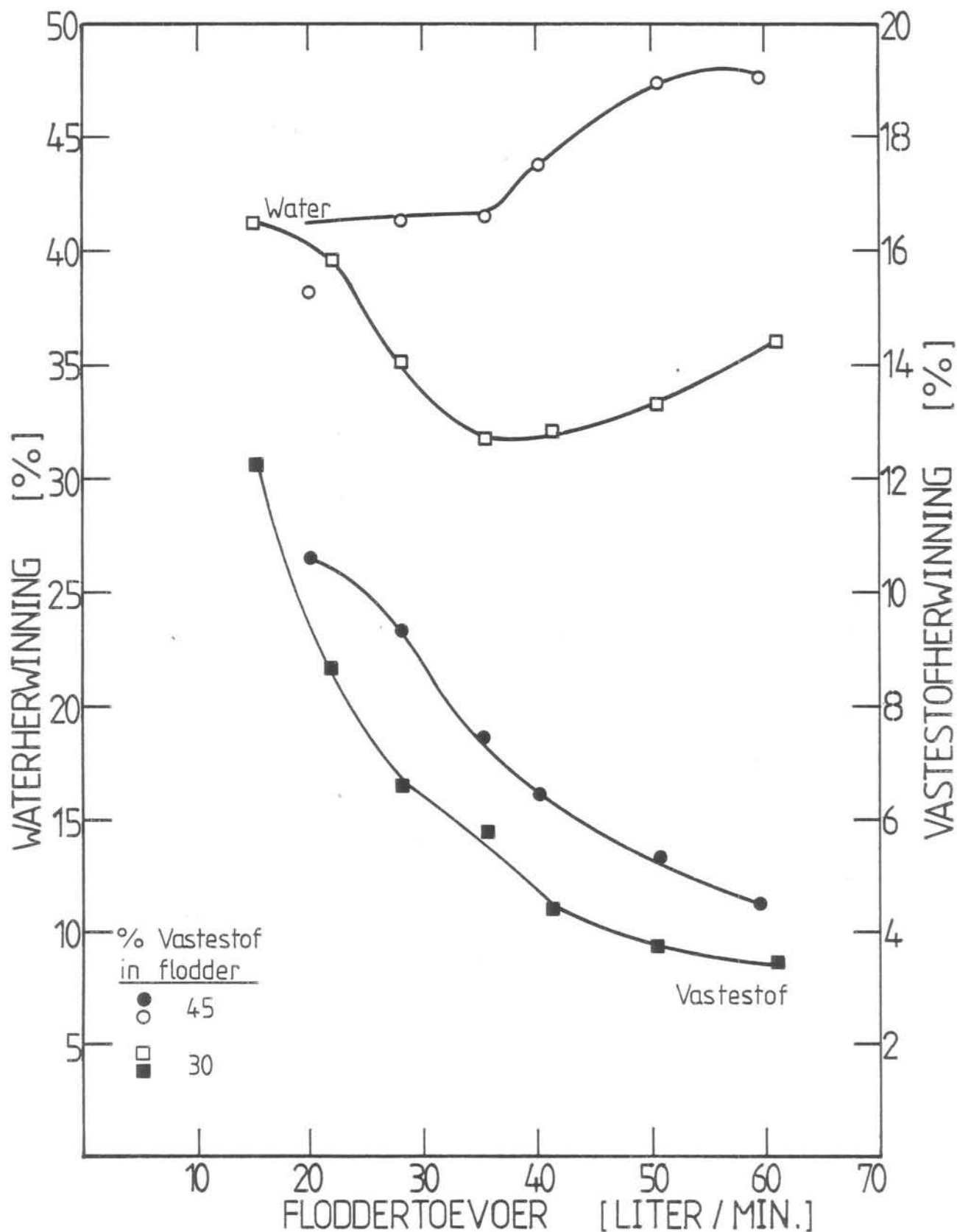


Fig. 6.14: Water en vastestofherwinning by hoë floddertoevoer. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min.

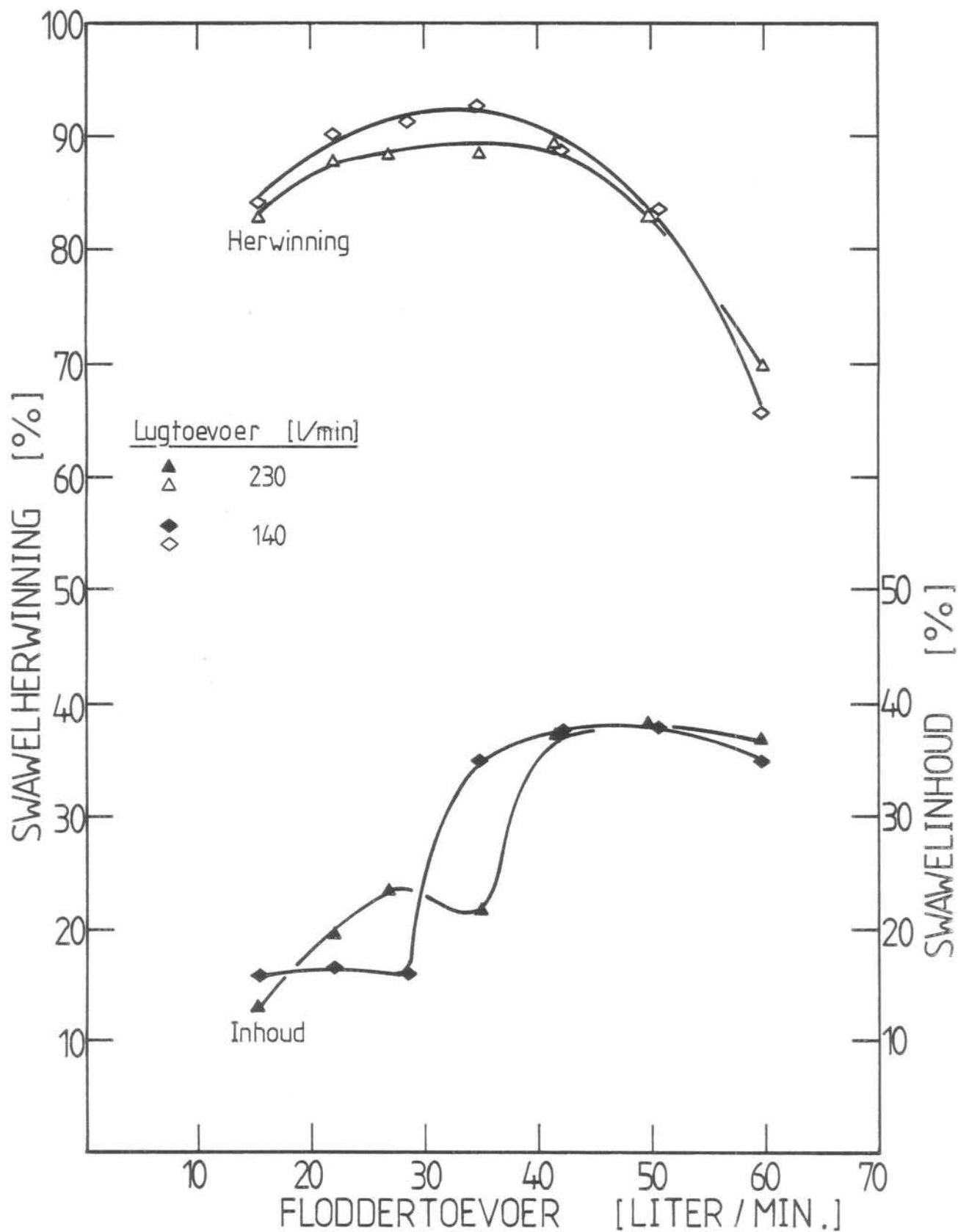


Fig. 6.15: Swawelherwinning en -inhoud by twee lugtoevoertempo's. Skuimmiddel = 35 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%.

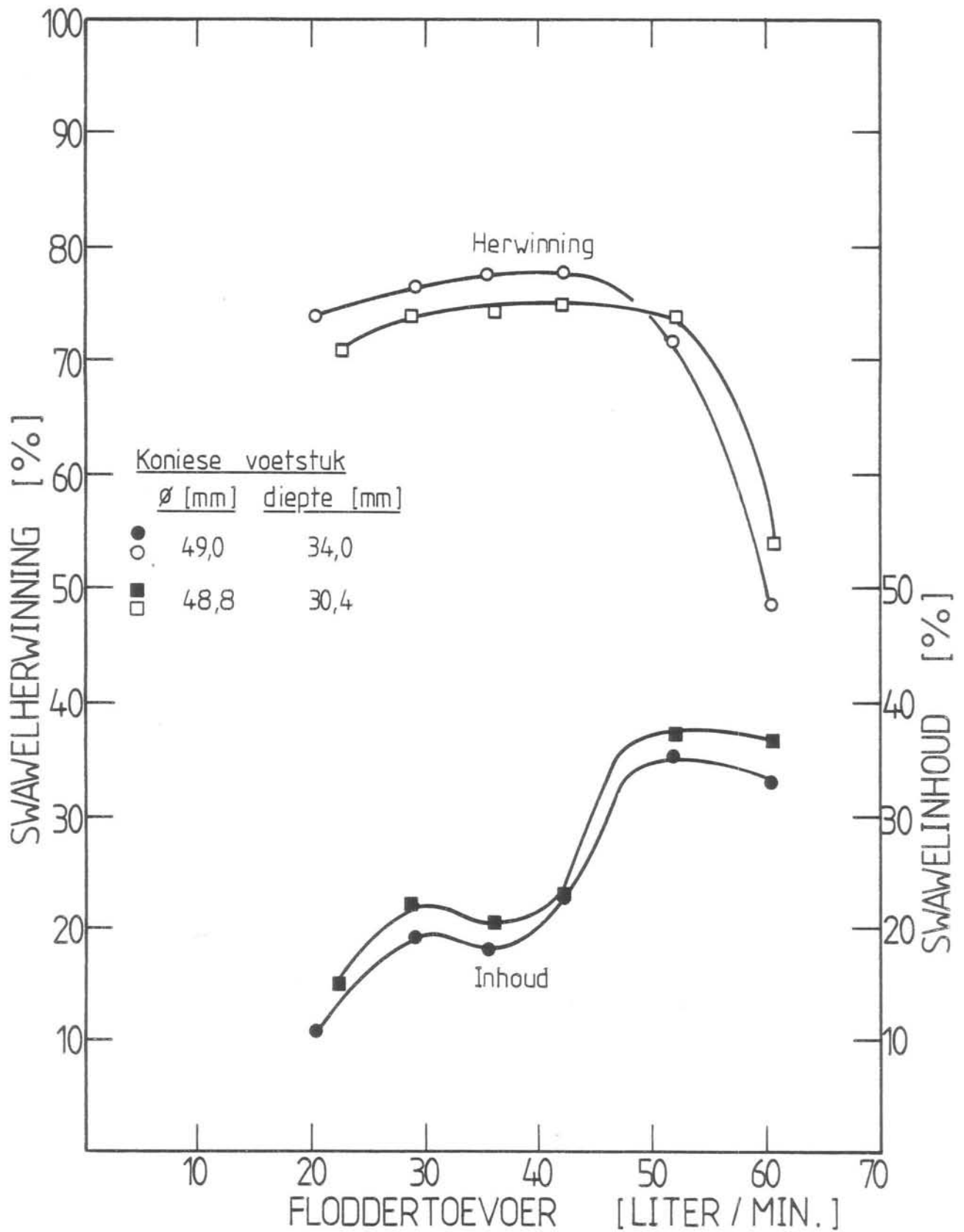


Fig. 6.16: Swawelherwinning en -inhoud by twee voetstukverstellings. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m. Koniese voetstuk (A). Lugtoevoer = 205 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%.

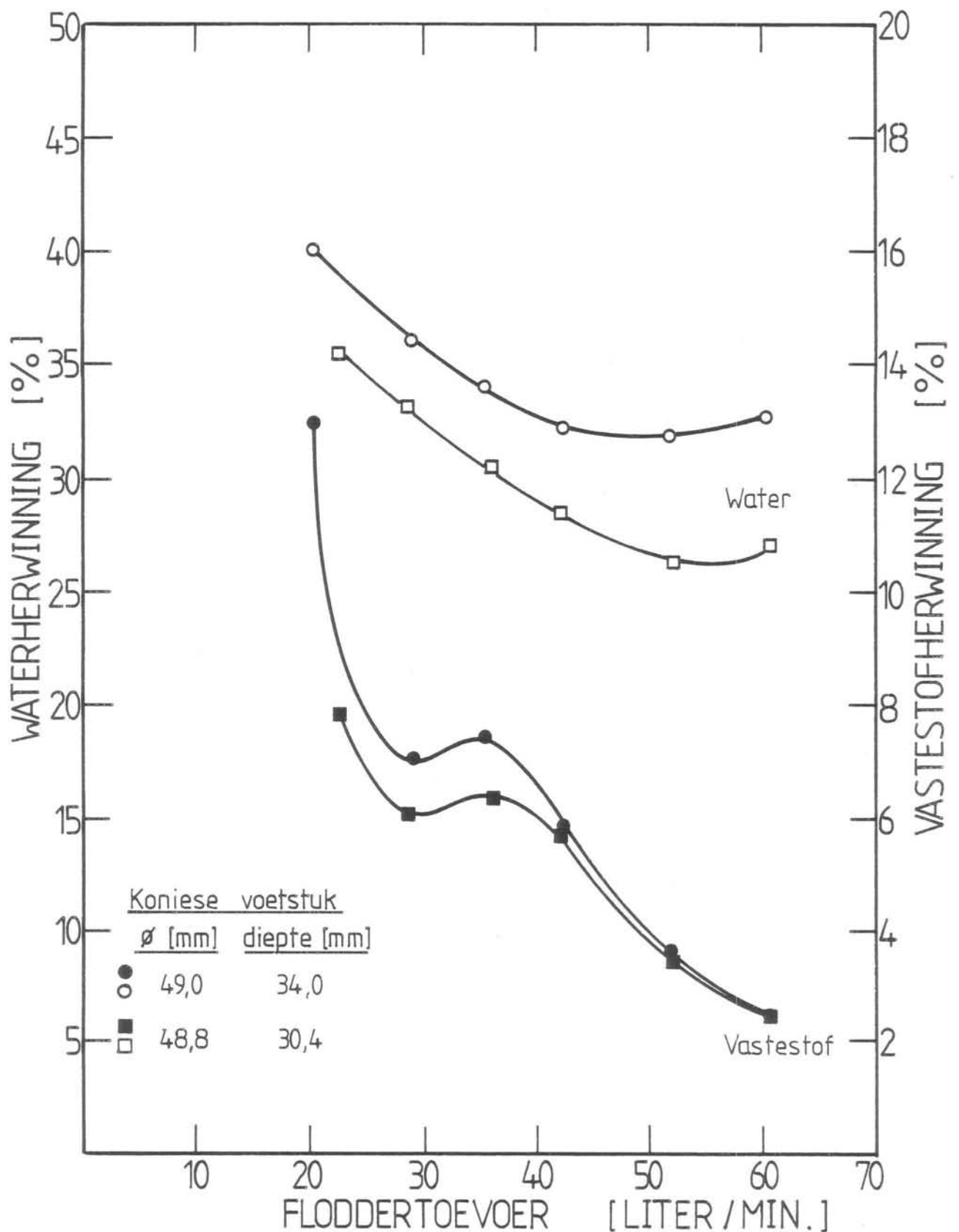


Fig. 6.17: Water- en vastestofherwinning in die bo-vloei by twee voetstukverstellings.  
 Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m.  
 Koniese voetstuk (A). Lugtoevoer = 205 l/min.  
 Massa % vastestof in toevoer = 30%.

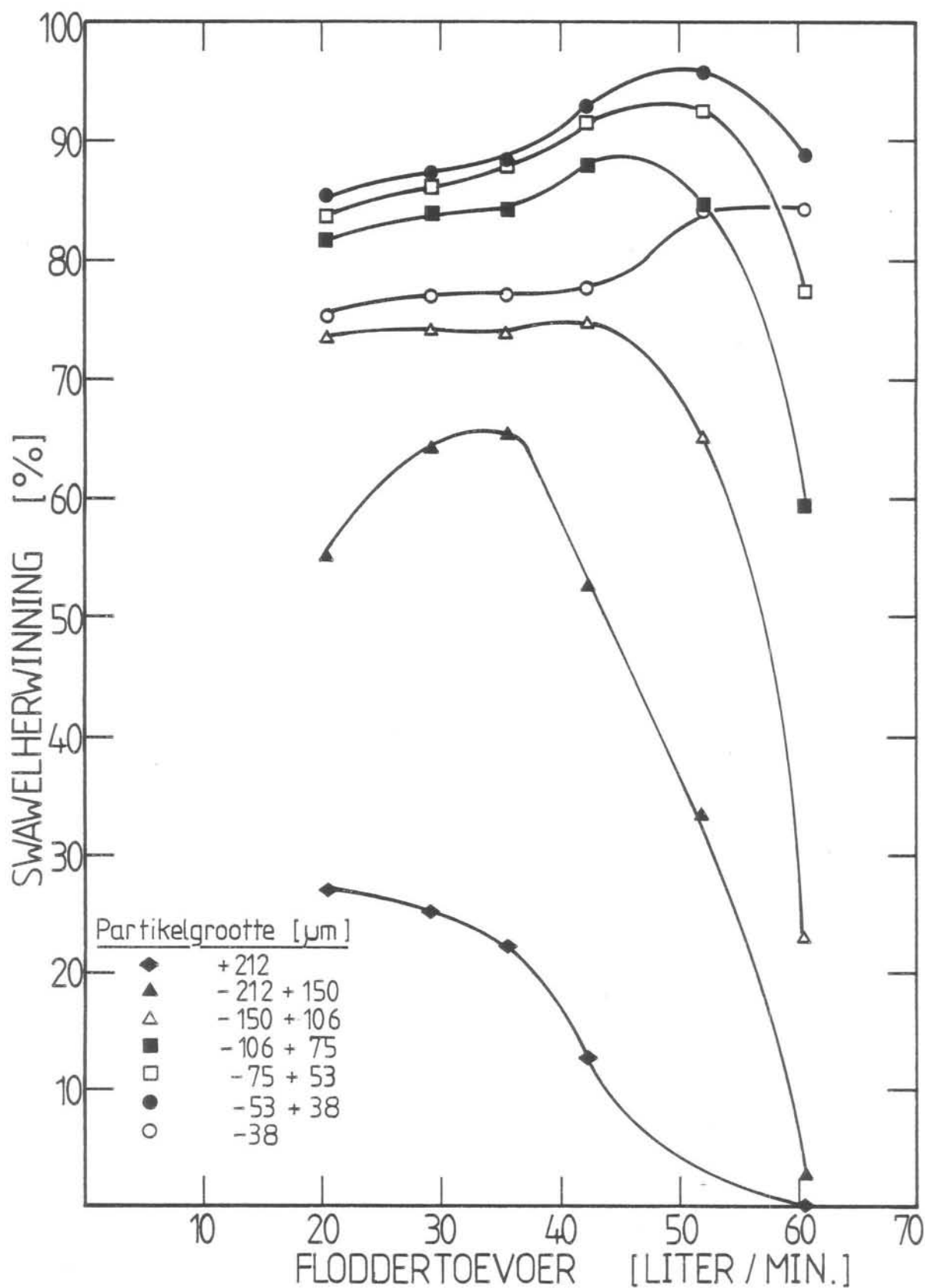


Fig. 6.18: Swawelherwinning vir verskillende groottefraksies. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m. Koniese voetstuk (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Lugtoevoer = 205 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%.



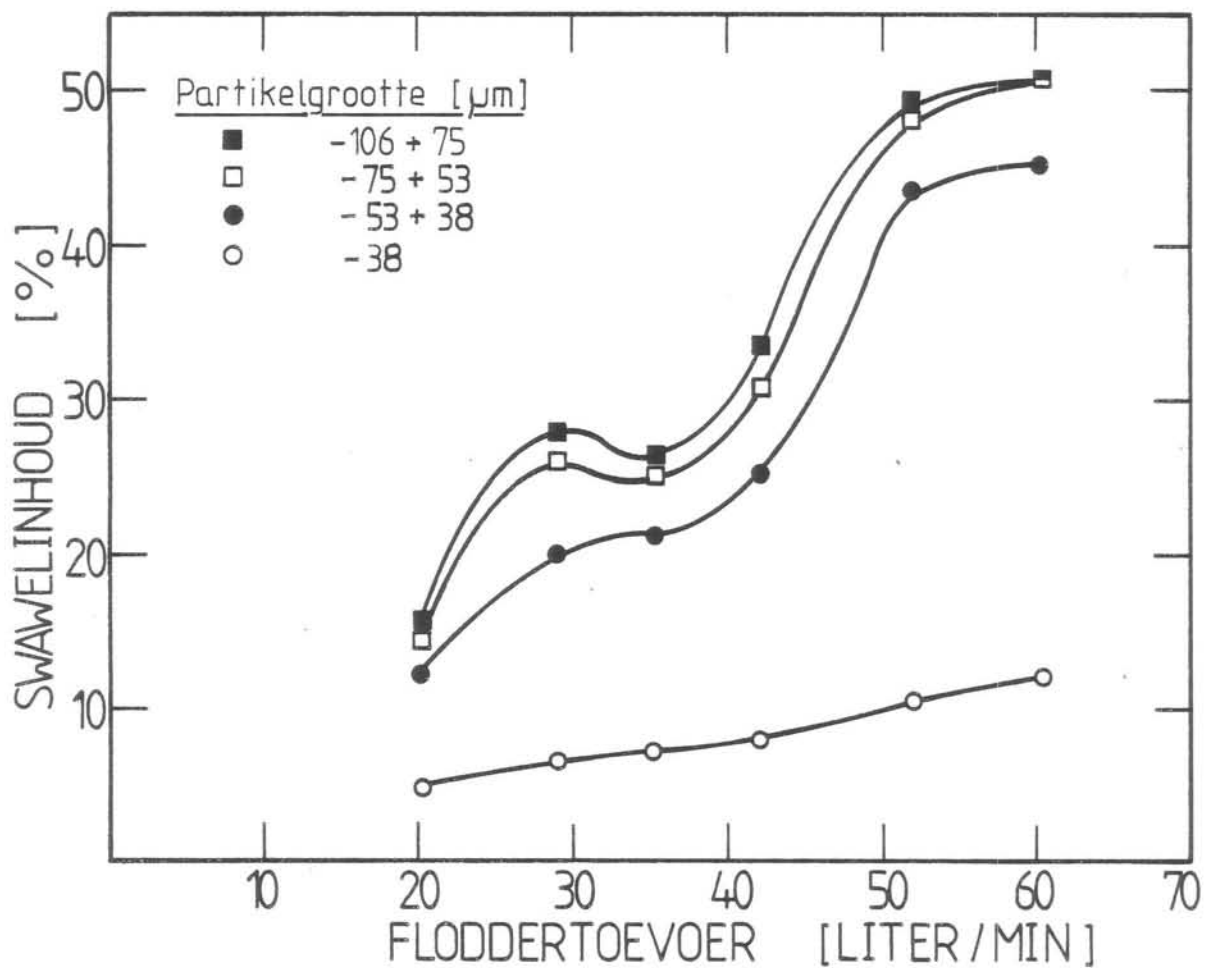


Fig. 6.19: Swawelinhoud vir die fyner groottefraksies. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m. Koniese voetstuk (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Lugtoevoer = 205 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%.

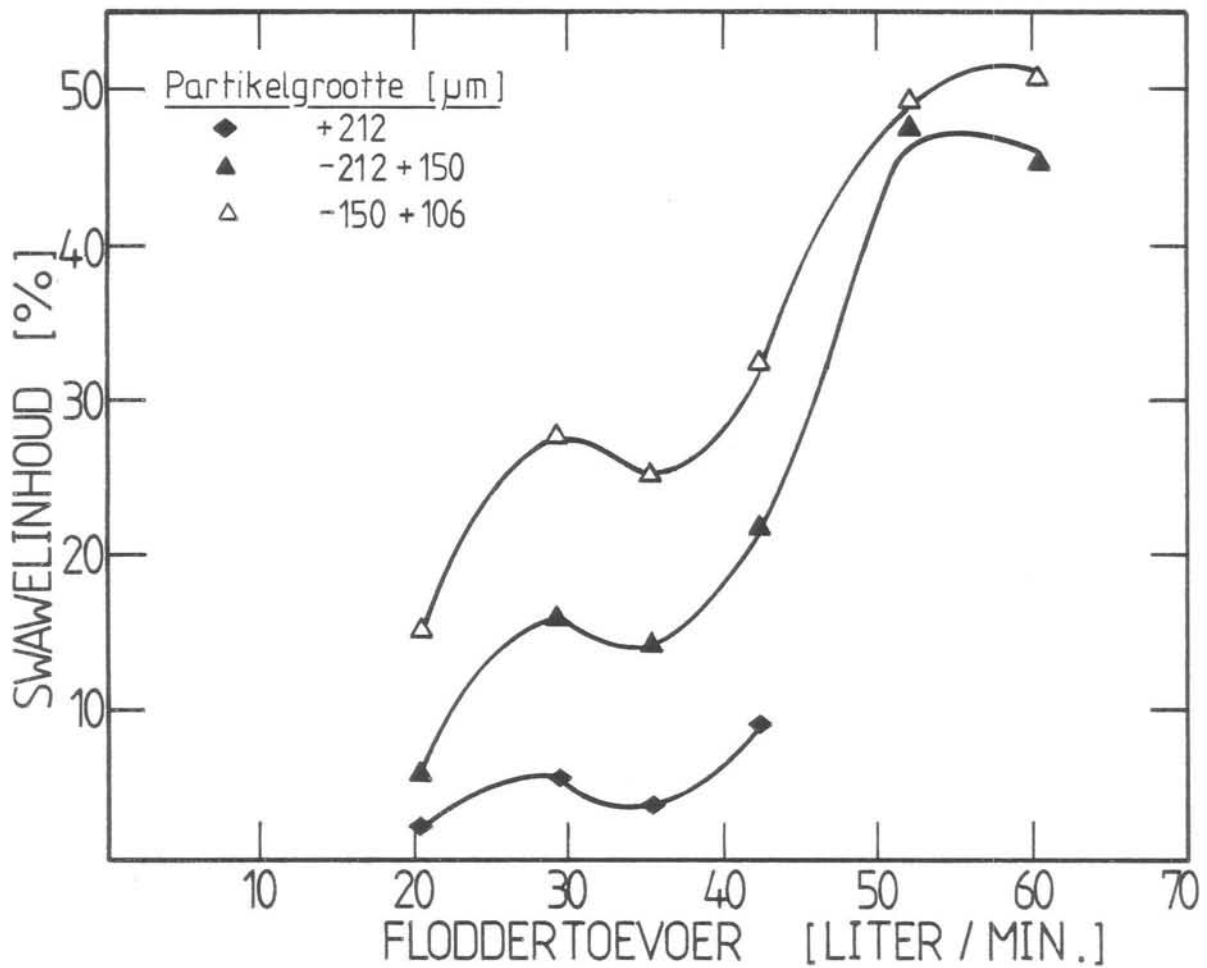


Fig. 6.20: Swawelinhoud vir growwe groottefraksies. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 80 d.p.m. Koniese voetstuk (A);  $\Phi = 49,0$  mm, diepte = 34,0 mm. Lugtoevoer = 205 l/min. Massa % vastestof in toevoer = 30%.

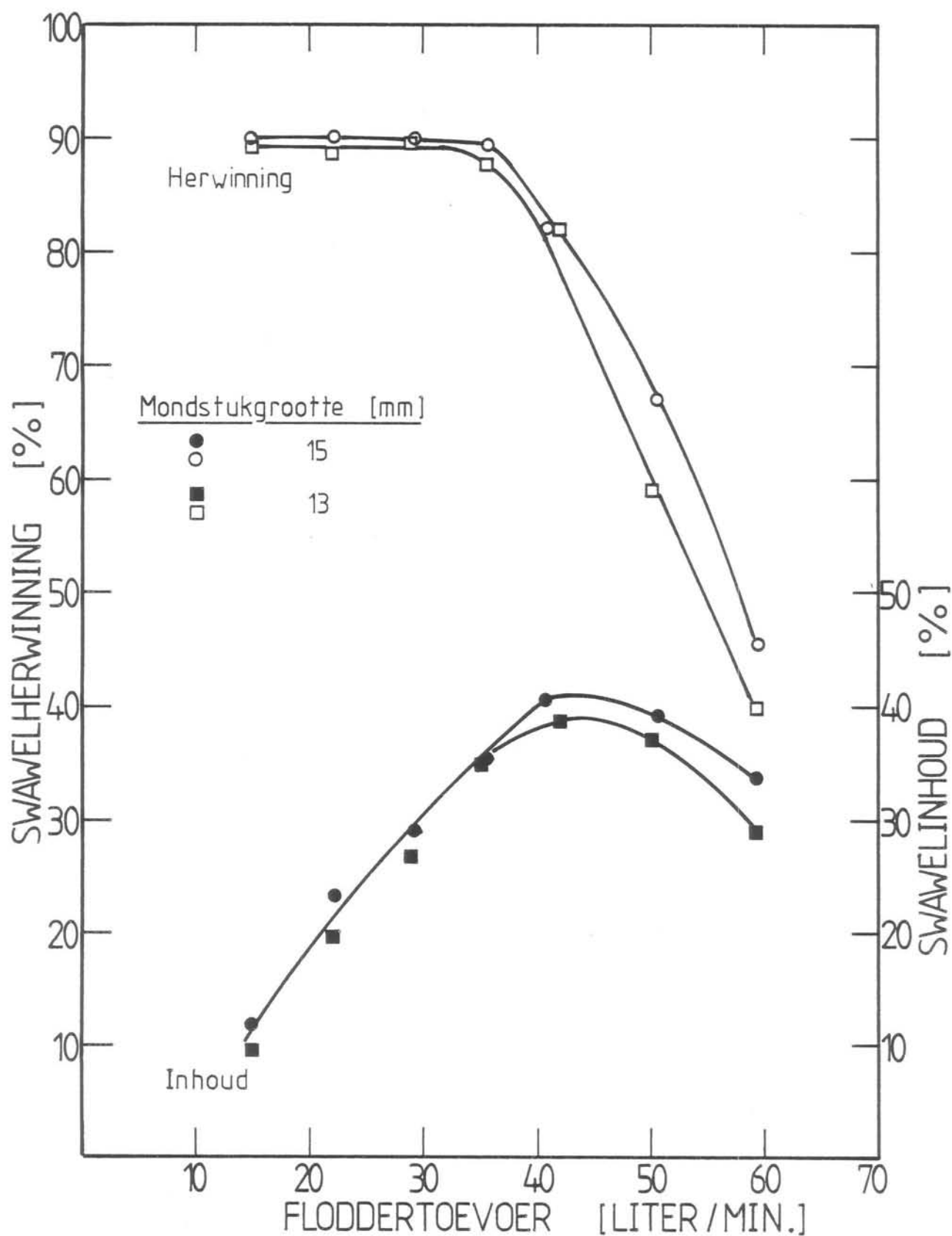


Fig. 6.21: Swawelherwinning en -inhoud by twee mond-  
stukverstellingen. Skuimmiddel = 20 mg/l.  
Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen  
voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm. Lugtoevoer =  
200 l/min.

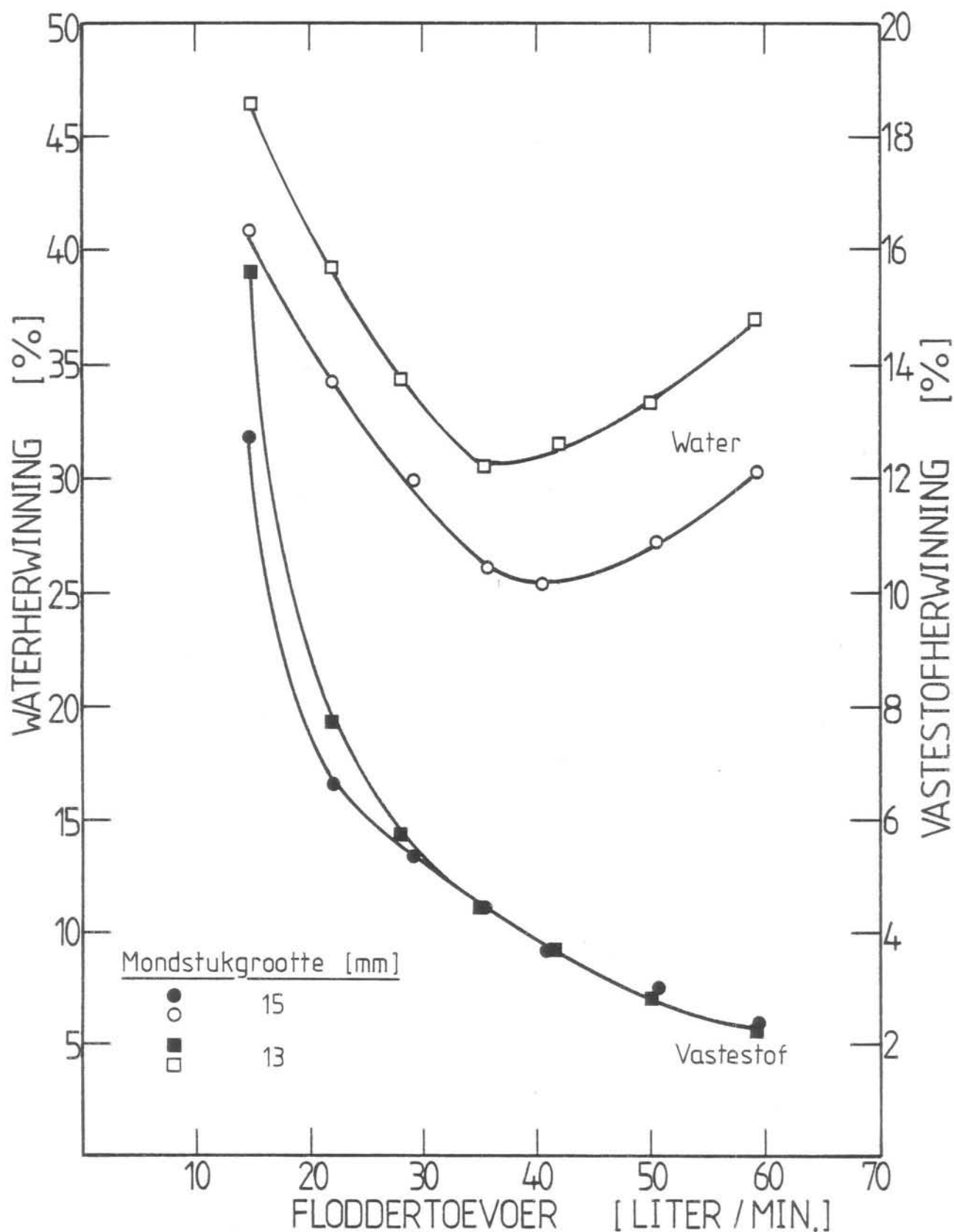


Fig. 6.22: Water- en vastestofherwinning in die bo-vloei by twee mondstukverstellingen.  
 Skuimmiddel = 20 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm.  
 Lugtoevoer = 200 l/min.

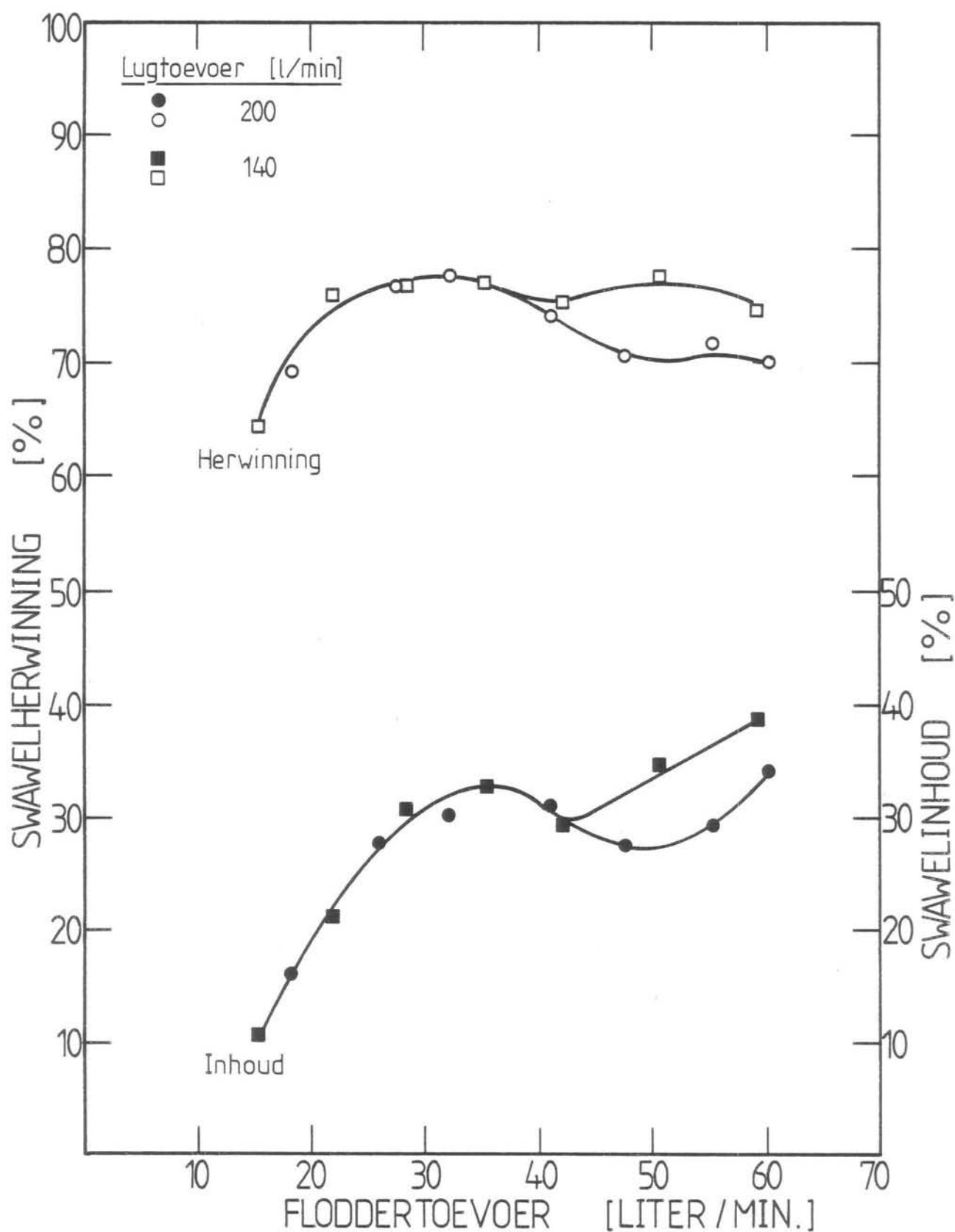


Fig. 6.23: Swawelherwinning en -inhoud tydens gebruik van die versterkte keramieksilinder. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi = 48,2$  mm, mondstuk = 14 mm.

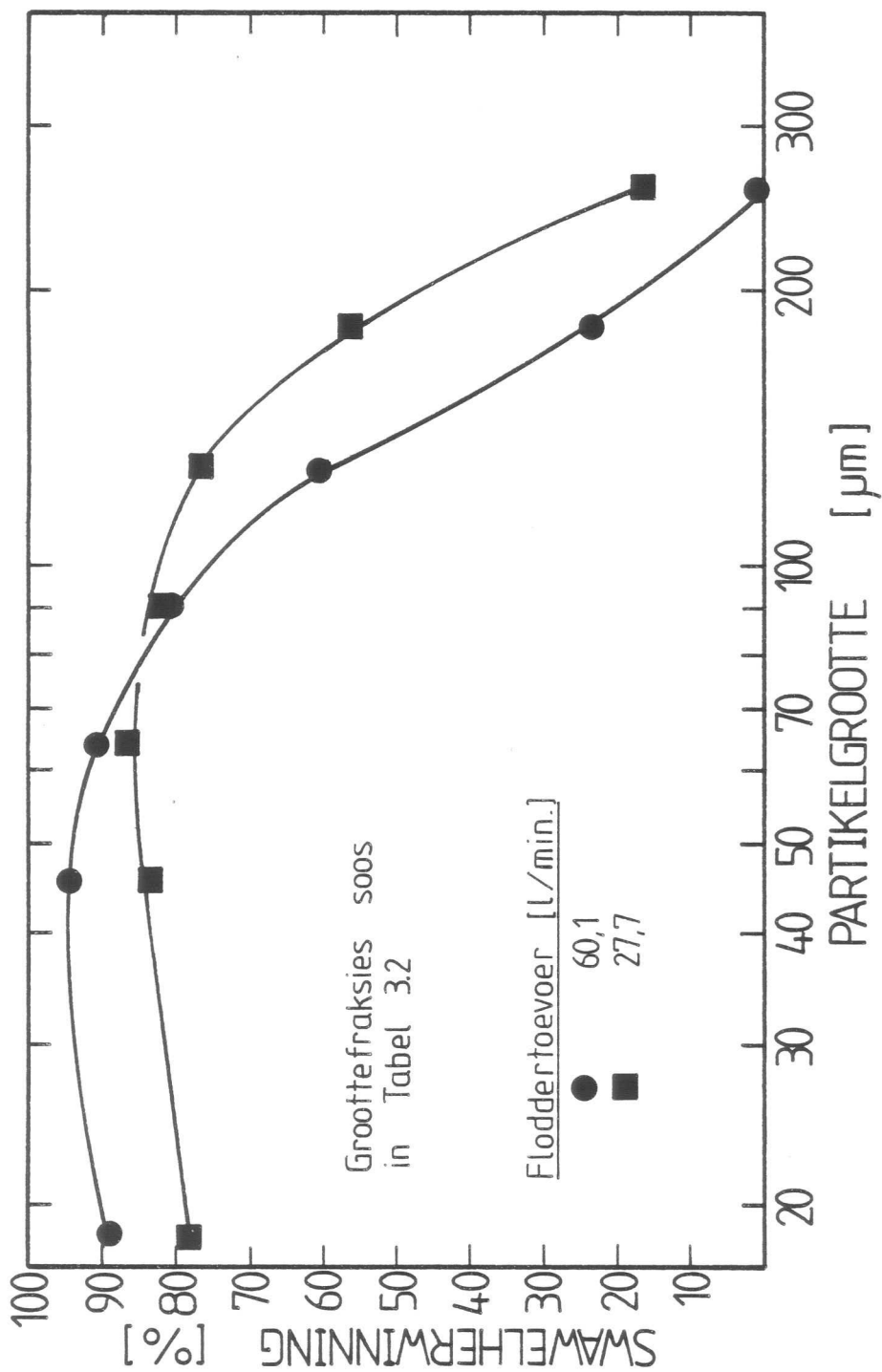


Fig. 6.24: Swaelherwinning vir groottefraksies tydens gebruik van die versterkte keramiek-silinder. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\phi$  = 48,2 mm, mondstuk = 14 mm. Lugtoevoer = 200 l/min.

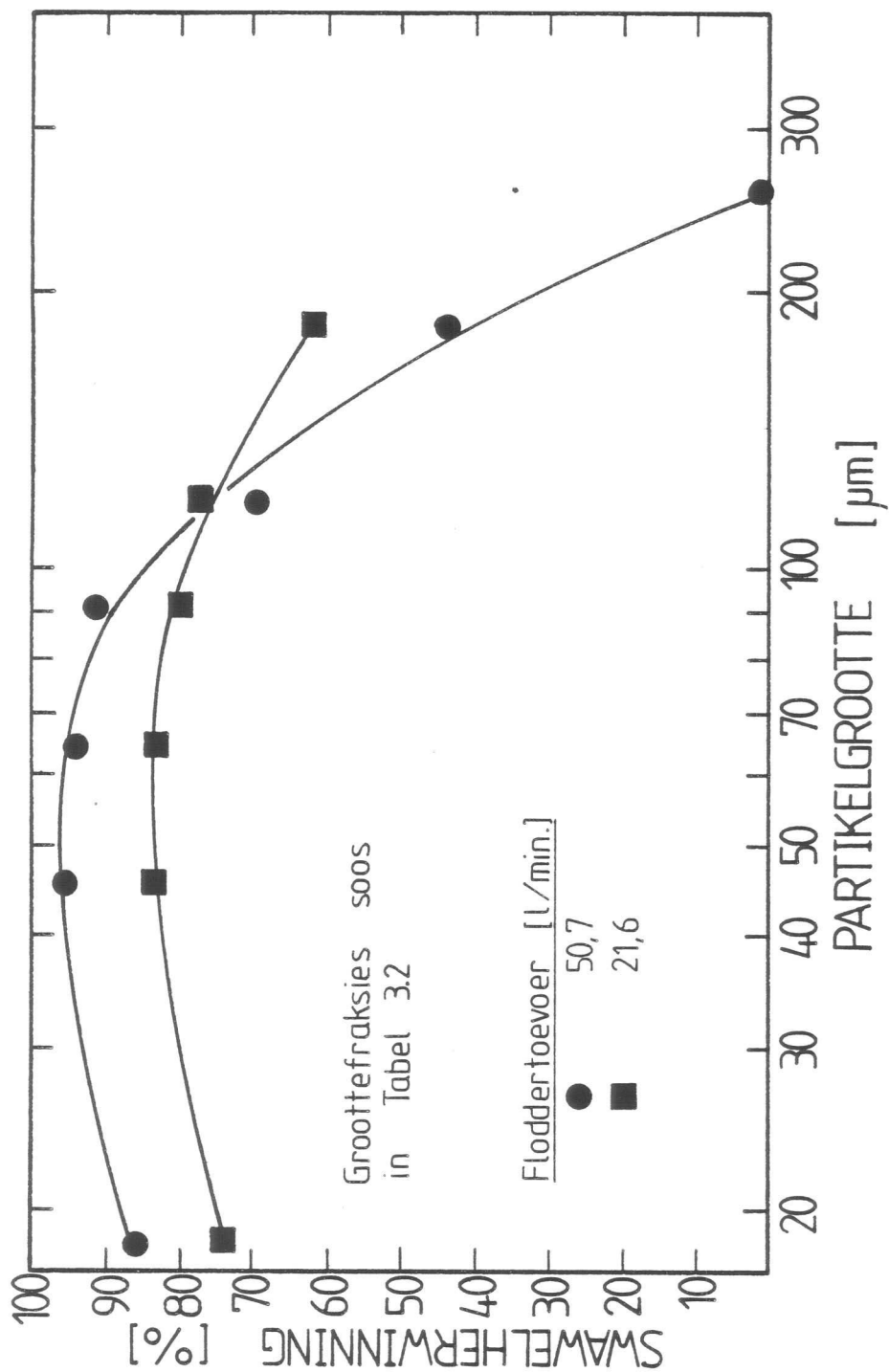


Fig. 6.25: Swaelherwinning vir groottefraksies tydens gebruik van die versterkte keramiek-silinder. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 48,2$  mm, mondstuk = 14 mm. Lugtoevoer = 140 l/min.

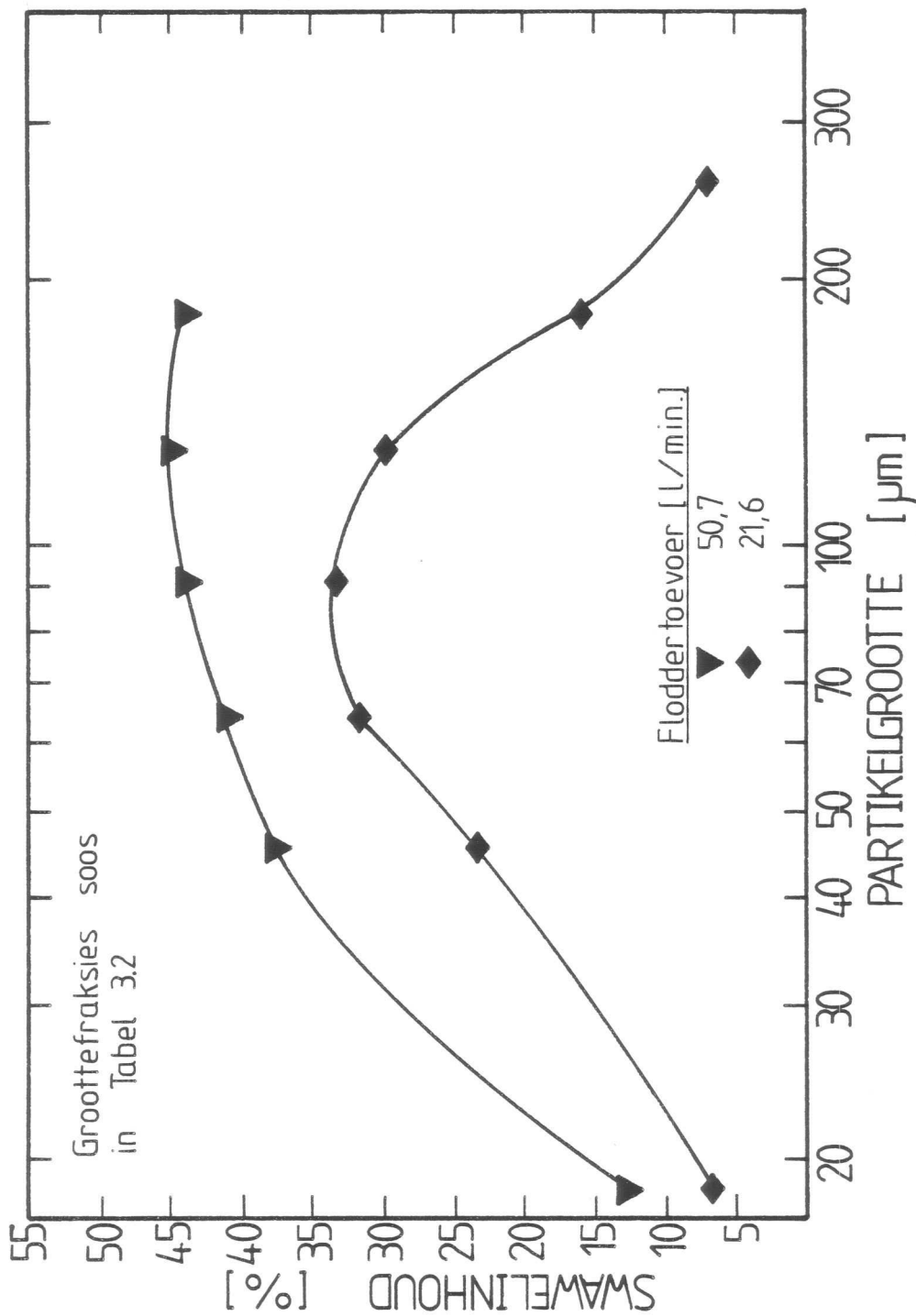


Fig. 6.26: Swawelinhoud van die groottefraksies tydens gebruik van die versterkte keramiek-silinder. Skuimmiddel = 50 mg/l. Kollektor = 160 d.p.m. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi$  = 48,2 mm, mondstuk = 14 mm. Lugtoevoer = 140 l/min.



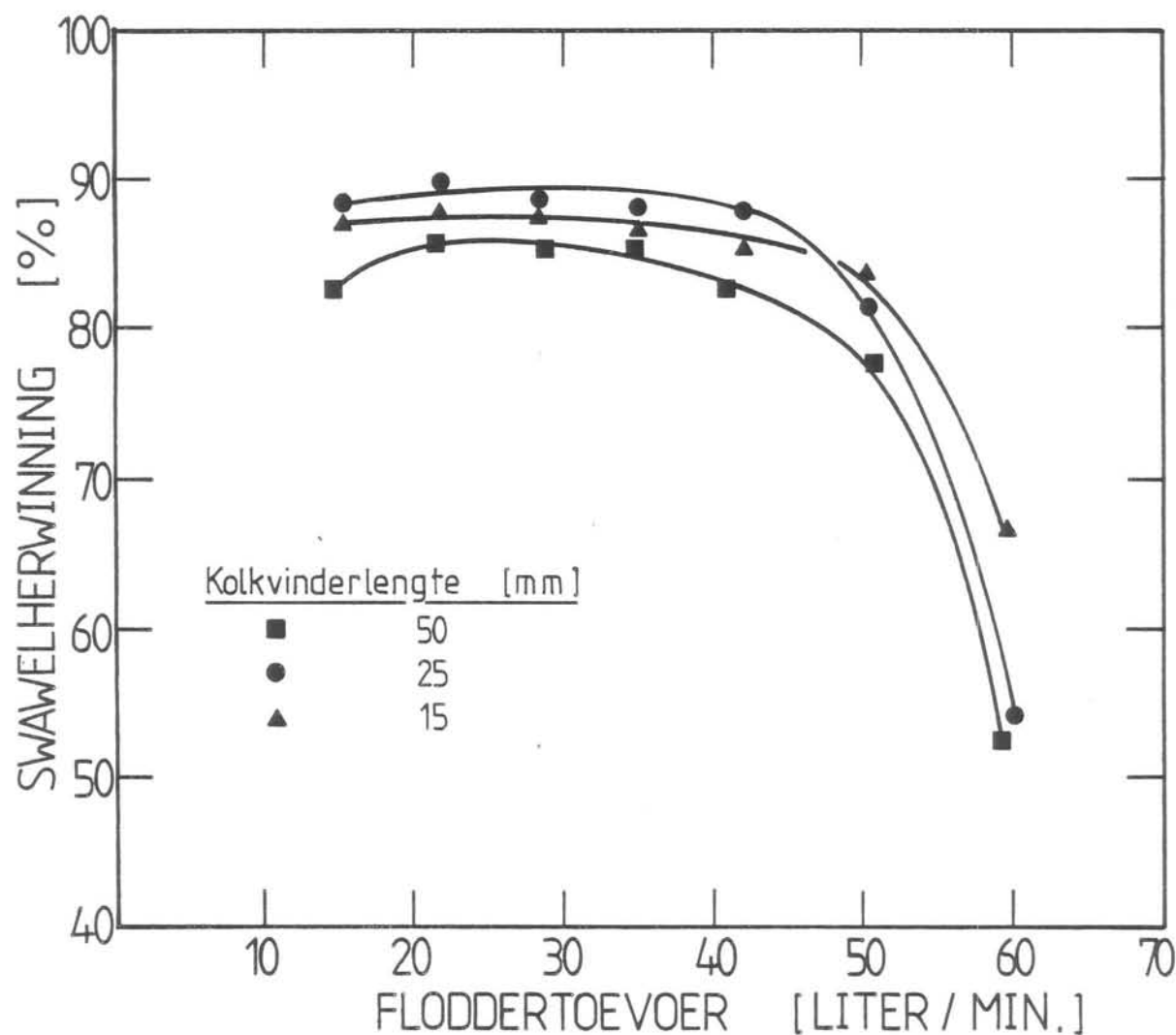


Fig. 6.27: Swawelherwinning by drie kolkvinderlengtes. Skuimmiddel = 35 mg/l. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m.

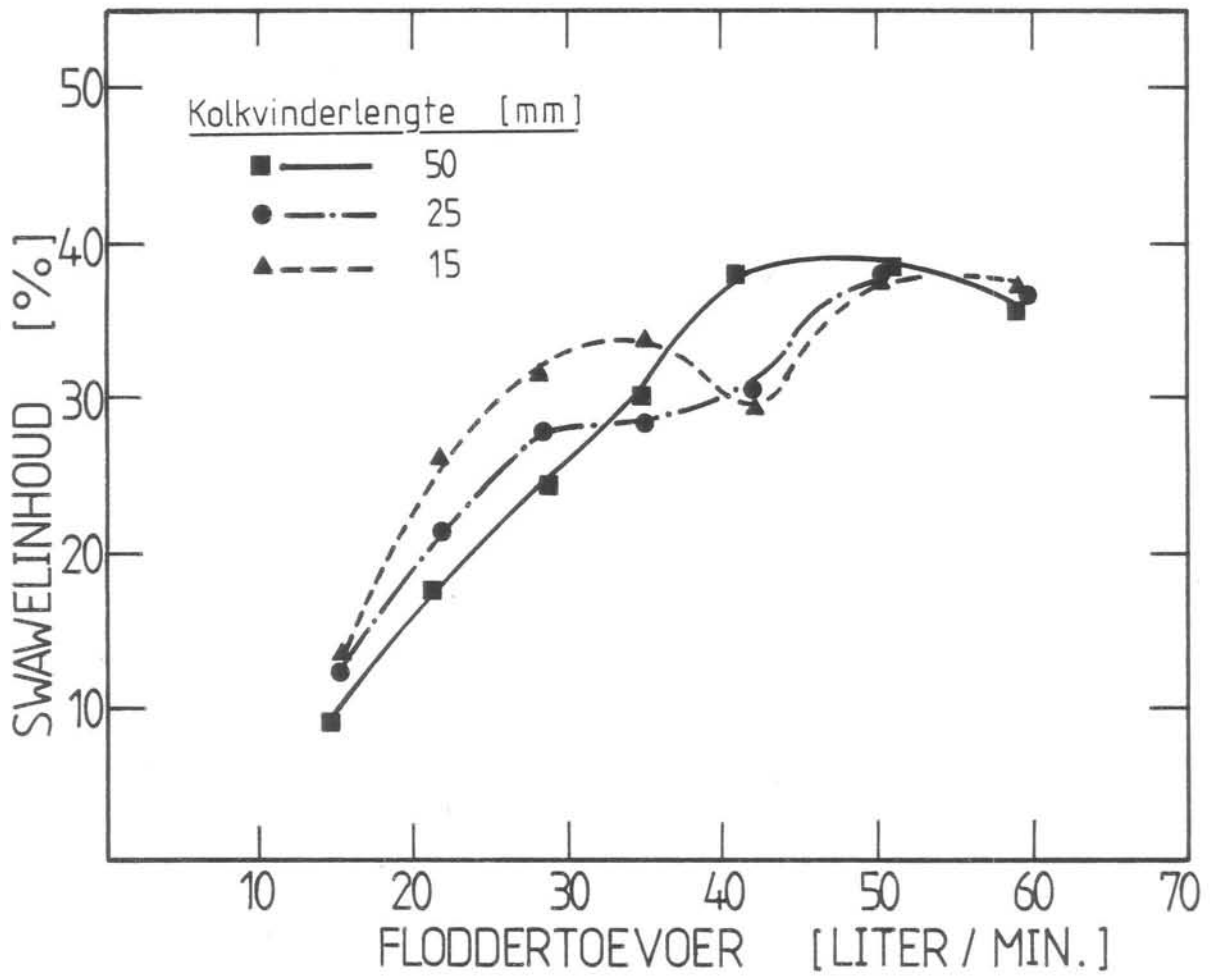


Fig. 6.28: Swawelinhoud vir drie kolkvinderlengtes.  
 Skuimmiddel = 35 mg/l. Poli-etileen  
 voetstuk;  $\phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm.  
 Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor =  
 160 d.p.m.

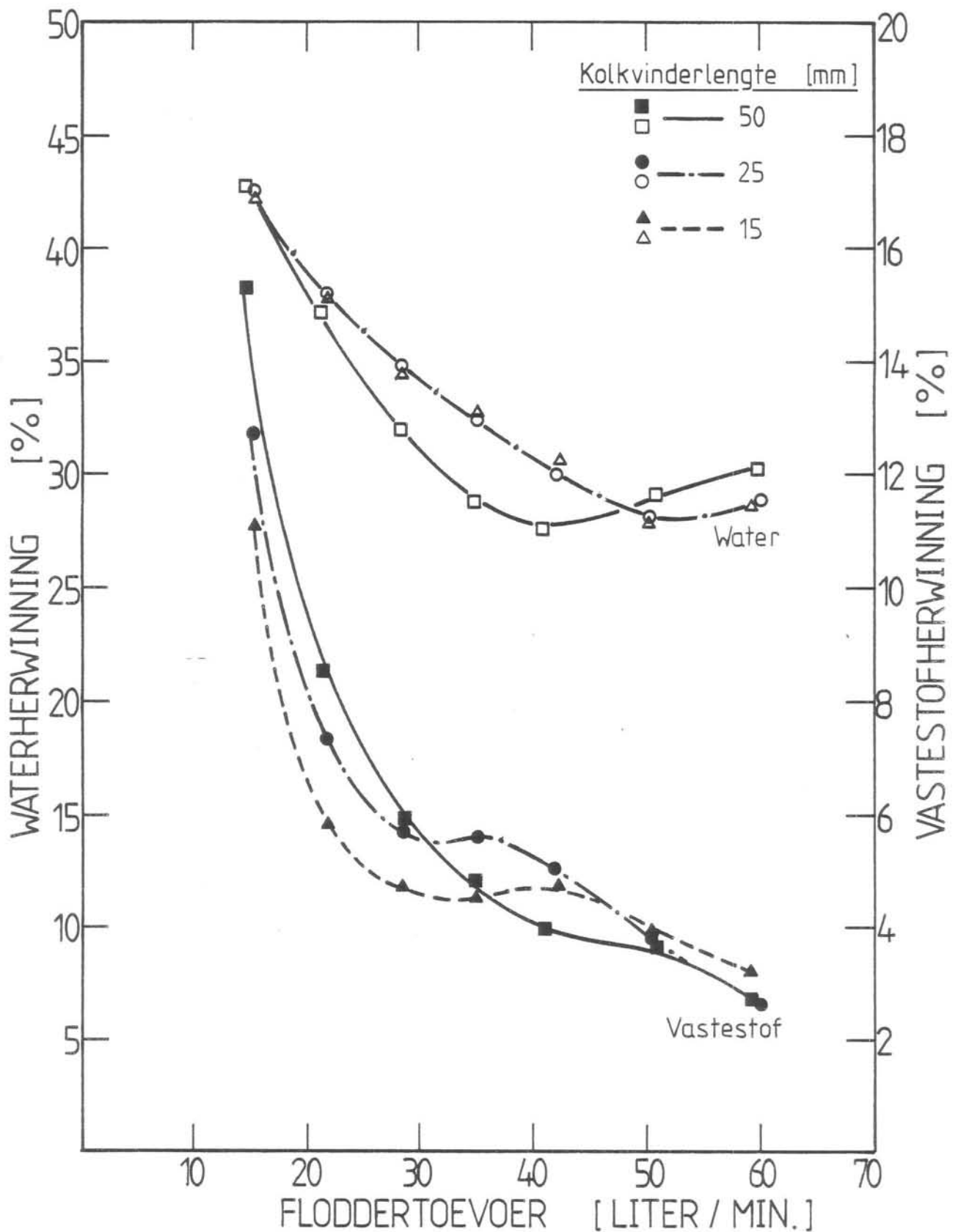


Fig. 6.29: Water- en vastestofherwinnings in die bo-vloei vir drie kolkvinderlengtes. Skuim-middel = 35 mg/l. Poli-etileen voetstuk;  $\Phi = 46,5$  mm, mondstuk = 15 mm. Lugtoevoer = 200 l/min. Kollektor = 160 d.p.m.

## 7. EVALUERING VAN LUGGEBORRELDE HIDROSIKLOON TEENoor ENKELLADINGFLOTTASIE

### 7.1 Enkelladingflottasies met 'n BARKER-sel

#### 7.1.1 Kollektorkonsentrasie

Hier word verwys na tabel 3.4 vir die definiëring van bedryfsveranderlikes. 'n Lugtoevoer van 6 liter per minuut is gebruik.

Kollektorkonsentrasie speel 'n baie prominente rol by die effektiwiteit van flottasie in die luggeborrelde hidrosikloon (seksie 5.2). Daar is reeds genoem dat òf die ewewig van die flottasie-reaksie òf die tempo van massa-oordrag na die skuimfase die flottasie-effektiwiteit kan beperk<sup>(15)</sup>. Die beherende stap is afhanklik van die kollektorkonsentrasie. 'n Hoër xantaat-konsentrasie kan ook die effek van 'n hoër pH (en dus laer effektiwiteit) teenwerk volgens die vergelyking:  $[C_2H_5OCS_2^-]/[OH^-]^{0,8} = \text{konstant.}^{(4)}$

Toetse by vyf verskillende kollektorkonsentrasies (tabelle 7.1 en 7.2) bevestig dat die tempo van massa-oordrag na die skuimfase afneem vir hoër xantaat-konsentrasies (fig. 7.1). Die maksimum herwinning van swawel neem egter toe. Net so verhoog die meesleuring van gangsteen sodat die swawelinhoud van die konsentraat dienoreenkomstig afneem. Hierdie resultate is tipies van flottasie in 'n konvensionele flottasiesel, maar uit besprekings in voorafgaande seksies blyk dit dat resultate tydens die gebruik van die luggeborrelde hidrosikloon nie noodwendig op dieselfde manier voorspel kan word nie.

### 7.1.2 Herwinning in verskillende grootte-fraksies

Die flotterbaarheid van die -38 mikron en die +150 mikron fraksies is ietwat swakker as vir die intermediêre groottes<sup>(7)</sup> (fig. 7.2). Tabelle C.4, C.5 en C.6 toon die tipiese resultate vir flottasies by 'n lugtoevoer van 7 liter per minuut en 'n kollektorkonsentrasie van 160 g/ton. Hierdie hoë xantaat-konsentrasies het gelei tot 'n hoë totale herwinning van swawel (96,3 % na 300 sekondes), maar 'n relatief lae totale swawelinhoud van 32,5 %. Figuur 7.3 illustreer die tipiese neiging waarvolgens die swawelinhoud laer is vir beide die growwe en heel fyn fraksies.

Oor die algemeen blyk dit dat die piriet-erts wat vir hierdie projek gebruik is, vinnig en goed flotter in 'n enkellading-flottasiesel.

### 7.2 Flottasie in 'n luggeborrelde hidrosikloon vs. enkelladingflottasies

Die gebruik van 'n luggeborrelde hidrosikloon as eerste stap in 'n flottasiebaan, lyk na 'n sinvolle moontlikheid. Daar is egter beperkings. Growwe partikels (+150 mikron) flotter relatief swak - 'n gevolg van te hoë turbulensie en skuifkragte. Tabel 7.3 gee 'n opsomming van die beste flottasie-moontlikhede wat met enkellading-resultate in seksie 7.1 vergelyk kan word.

Die groot voordeel van 'n uiters vinnige flottasiemetode moet nie uit die oog verloor word nie. Met 'n lengte van 410 mm en 'n deursnee van 50 mm is die totale volume van die hidrosikloon slegs 0,81 liter. Tydens flottasie van 'n 30 massa % flodder teen 'n toevoertempo van ongeveer 40 liter per minuut, impliseer dit 'n kapasiteit van 1098 (ton droë erts)/(uur.m<sup>3</sup>). Die bepaling van die residensietyd is nie voor die hand liggend nie. 'n Benaderde ruimtetyd kan egter bereken word. In afdeling 3.1 is reeds genoem dat die

lugdruk (gemeet net voor die rotameter) gewoonlik laer as 160 kPa abs. was. Daar kan dus argumentshalwe aanvaar word dat die druk binne die hidrosikloon ongeveer 150 kPa abs. was. Die werklike volumetriese deurvloei van lug sou dan 133 l/min wees indien die lugtoevoer by die gekose standaardtoestande (15 °C en 1 atmosfeer) gemeet is as 200 l/min. By 'n floddervoertempo van 40 l/min impliseer dit 'n totale volumetriese deurvloei van 173 l/min.

$$\begin{aligned}\text{Die ruimtetyd is dan: } & (0,81/173) \times 60 \\ & = 0,28 \text{ sekondes}\end{aligned}$$

Hierdie tyd verhoog na 1,2 sekondes indien die volume-besetting deur lug geïgnoreer word.

'n Ruimtetyd van minstens 60 sekondes in 'n enkelladingsel is nodig om vergelykbare resultate te lewer (fig. 7.1). Die volume lug wat per massa droë erts benodig word, vergelyk soos volg met dié in enkelladingflottasies. Optimum bedryfstoestande vir die luggeborrelde hidrosikloon impliseer 'n verhouding van ongeveer 14 (liter lug)/(kg droë erts) wanneer 'n 30 massa % flodder gebruik word. Hierteenoor vereis 'n flottasietyd van 60 sekondes in die enkelladingsel (lugtoevoer = 6 l/min) 'n totale volume lug van 5,4 liter/(kg droë erts) indien 1,11 kg droë erts in die totale volume flodder van 3 liter gebruik word.

Enkelladingselle word normaalweg oor 'n langer tydperk bedryf. Vir 'n ruimtetyd van 5 minute sou daar dan in hierdie geval 27 (liter lug)/(kg droë erts) nodig wees.

Tabel 7.1: Kumulatiewe persentasie swawelherwinning en swawelinhoud vir enkelladingflottasies by verskillende kollektorkonsentrasies

| Tyd<br>(s) | Kollektorkonsentrasie (g/ton) |                 |                |                 |                |                 |                |                 |                |                 |
|------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|            | 20                            |                 | 50             |                 | 65             |                 | 80             |                 | 110            |                 |
|            | H <sub>s</sub>                | I <sub>sb</sub> | H <sub>s</sub> | I <sub>sb</sub> | H <sub>s</sub> | I <sub>sb</sub> | H <sub>s</sub> | I <sub>sb</sub> | H <sub>s</sub> | I <sub>sb</sub> |
| 20         | 67,4                          | 44,9            | 66,9           | 46,0            | 60,3           | 45,0            | 37,0           | 45,0            | 23,5           | 45,6            |
| 40         | 83,2                          | 44,8            | 83,0           | 45,2            | 77,3           | 44,3            | 60,7           | 43,9            | 49,2           | 43,8            |
| 80         | 90,9                          | 43,4            | 93,5           | 43,6            | 92,3           | 43,0            | 87,7           | 42,6            | 78,8           | 42,2            |
| 160        | 92,9                          | 41,3            | 95,1           | 41,3            | 95,4           | 40,6            | 94,0           | 40,9            | 94,5           | 39,5            |
| 320        | 93,8                          | 39,0            | 95,7           | 39,0            | 96,1           | 38,0            | 95,6           | 35,0            | 95,9           | 35,7            |

Tabel 7.2: Kumulatiewe herwinning (massa) van water en vastestof vir enkelladingflottasies by verskillende kollektorkonsentrasies (massa in gram)

| Tyd<br>(s) | Kollektorkonsentrasie (g/ton) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|            | 20                            |                 | 50              |                 | 65              |                 | 80              |                 | 110             |                 |
|            | M <sub>wb</sub>               | M <sub>vb</sub> | M <sub>wb</sub> | M <sub>vb</sub> | M <sub>wb</sub> | M <sub>vb</sub> | M <sub>wb</sub> | M <sub>vb</sub> | M <sub>wb</sub> | M <sub>vb</sub> |
| 20         | 186                           | 28,1            | 78              | 28,2            | 72              | 25,8            | 48              | 15,3            | 29              | 9,9             |
| 40         | 246                           | 34,8            | 132             | 35,6            | 421             | 33,6            | 107             | 25,7            | 77              | 21,5            |
| 80         | 362                           | 39,2            | 243             | 41,6            | 530             | 41,3            | 214             | 38,3            | 177             | 35,7            |
| 160        | 571                           | 42,1            | 463             | 44,6            | 590             | 45,3            | 460             | 42,7            | 403             | 45,7            |
| 320        | 914                           | 45,0            | 819             | 47,6            | 803             | 48,7            | 897             | 50,9            | 835             | 50,8            |

Tabel 7.3: Optimum resultate van flottasies in die luggeborrelde hidrosikloon

| % Vastestof in flodder<br>(% kg/kg) | Swawelherwinning in konsentraat<br>(% kg/kg) | Swawelinhoud van konsentraat<br>(% kg/kg) | Verwysing |
|-------------------------------------|--|---|-----------|
| 10                                  | 82   | 41  | Fig. 5.2  |
| 10                                  | 85   | 40  | Fig. 5.1  |
| 10                                  | 87   | 38  | Fig. 5.1  |
| 10                                  | 90   | 36  | Fig. 5.2  |
| 10                                  | 90   | 36  | Fig. 5.10 |
| 30                                  | 87   | 39  | Fig. 5.16 |
| 30                                  | 93   | 35  | Fig. 5.15 |
| 45                                  | 93   | 22  | Fig. 5.13 |

Vir resultate in afsonderlike groottefraksies word verwys na figure 5.6, 5.7, 5.17 en 6.8 tot 6.12 .



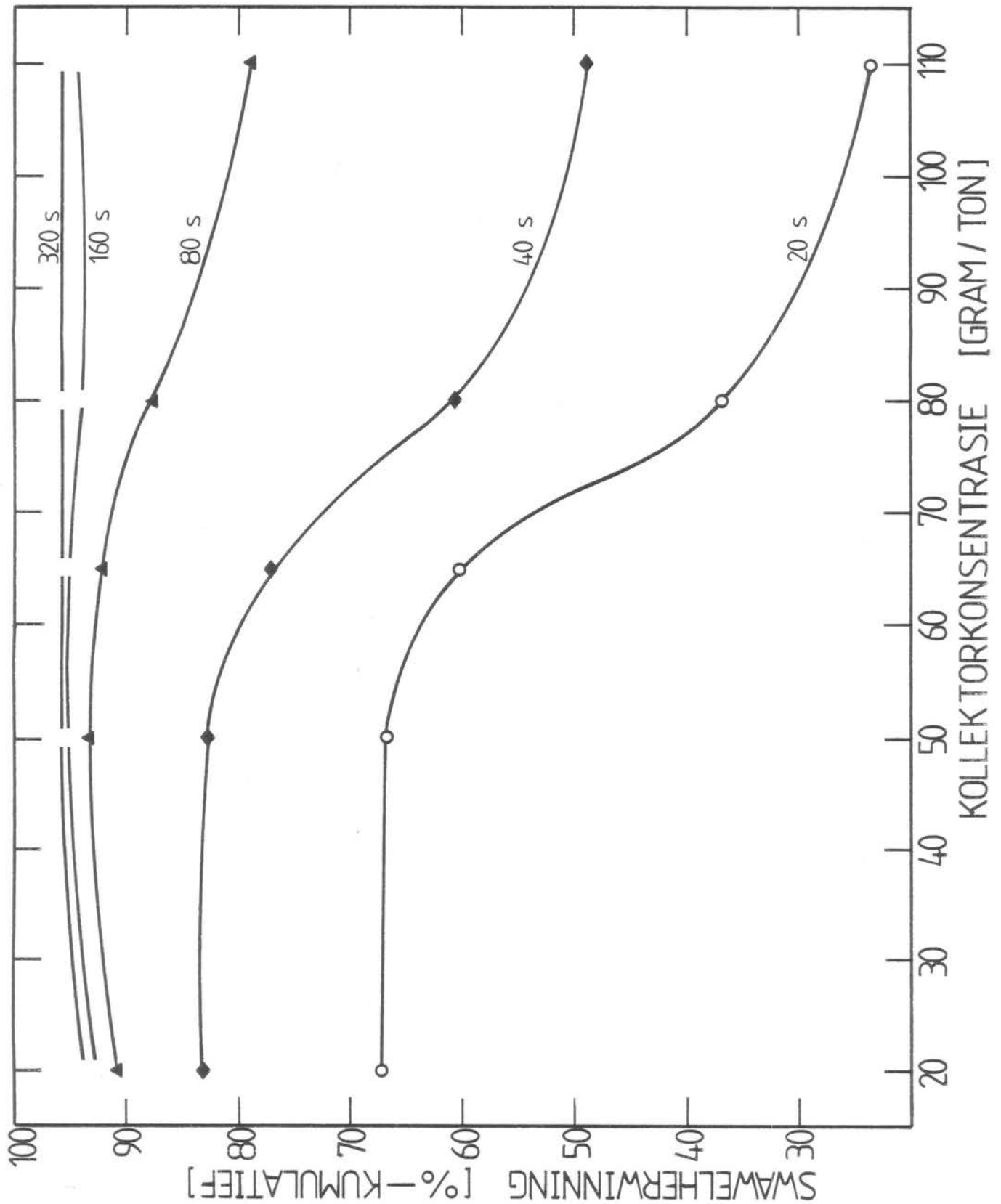


Fig. 7.1 : Kumulatiewe herwinning van swawel tydens gebruik van verskillende kollektorhoeveelhede. Flottasie in BARKER-sel. Lugtoevoer = 6 l/min.

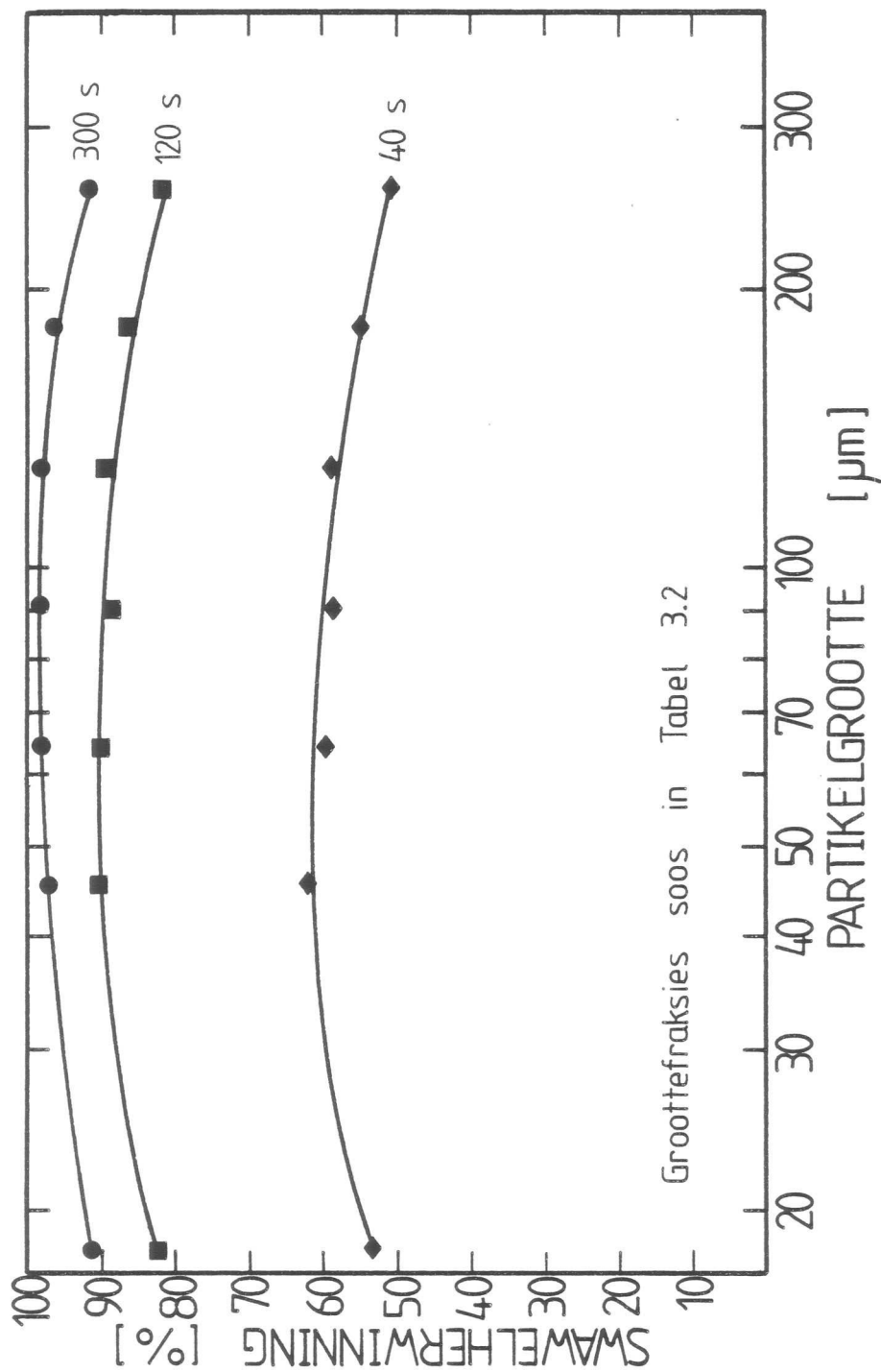


Fig. 7.2 : Kumulatiewe herwinning van swawel vir verskillende groottefraksies en by drie kumulatiewe tydfraksies. Flottasie in BARKER-sel. Lugtoevoer = 7 l/min. Kollektor = 160 d.p.m.

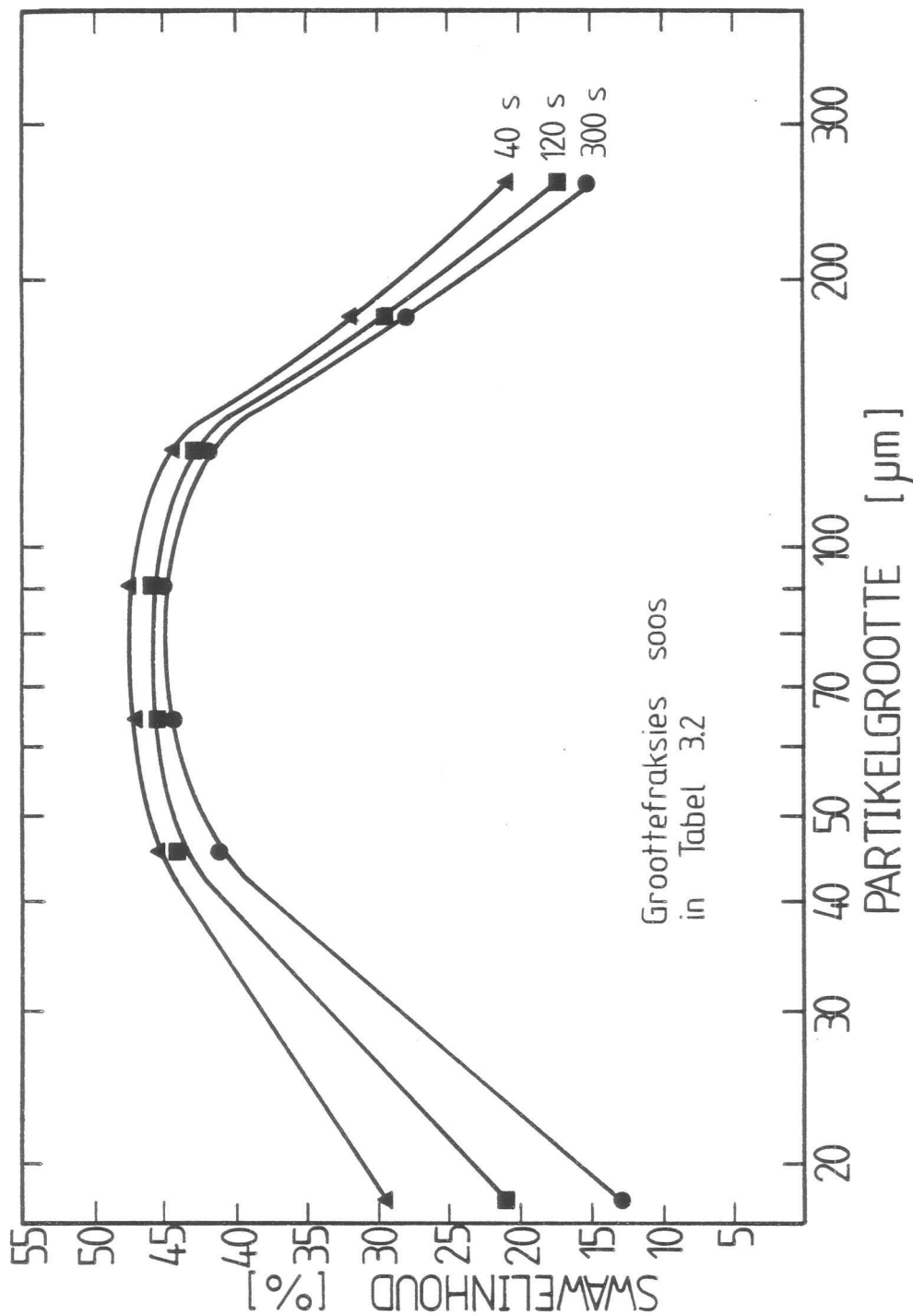


Fig. 7.3 : Kumulatiewe swawelinhoud van die verskillende groottefraksies en by drie kumulatiewe tydfraksies. Flottasie in BARKER-sel. Lugtoevoer = 7 l/min. Kollektor = 160 d.p.m.

## 8. GEVOLGTREKKINGS

8.1 'n Literatuurstudie het aan die lig gebring dat die luggeborrelde hidrosikloon suksesvol getoets is vir die flottasie van steenkool en 'n fyn kopersulfied-erts.

8.2 'n Vergelyking tussen konvensionele enkellading-flottasies en flottasie in 'n luggeborrelde hidrosikloon met 'n growwe piriet-erts, het die volgende getoon:

- Flottasie in die luggeborrelde hidrosikloon lewer swawelherwinnings van 85 tot 93 % in 'n konsentraat met 'n swawelinhoud van 35 tot 40 %. 'n Swawelherwinning en -inhoud van 95 % en 40 % respektiewelik is verkry in 'n enkelladingsel, maar hiervoor was 'n baie langer flottasietyd nodig as in die luggeborrelde hidrosikloon.
- 'n Kort ruimtetyd van ongeveer 1 sekonde met 'n gepaardgaande hoë kapasiteit van 1100 (ton erts)/(h.m<sup>3</sup>) is van die grootste voordele tydens gebruik van die luggeborrelde hidrosikloon.

8.3 'n Floddertoevoer tussen 35 en 40 l/min lewer optimum resultate by die spesifieke hidrosikloondimensies wat gebruik is. 'n Hoë floddervoertempo benodig 'n hoë lugtoevoer (230 l/min) vir goeie flottasie. 'n Laer lugtoevoer van 150 l/min is voldoende by 'n floddervoer laer as 35 l/min.

8.4 Growwe pirietpartikels (+150 mikron) flotter swak in die luggeborrelde hidrosikloon. Die maksimum herwinning van swawel verskuif na hoër floddervoertempo's hoe fyner die partikels is. Die beste flottasie word verkry in die groottefraksie (-75+38) mikron, waar 'n konsentraat met 'n swawelinhoud van 51 % moontlik is by 'n swawelherwinning van 95 %.

- 8.5 'n Kollektorkonsentrasie drie keer hoër as in konvensionele prosesse word benodig (160 g/ton by 'n pH van 4,5). Skuimmiddelbyvoegings is afhanklik van flodder-toevoer. By 'n lae voertempo lewer min skuimmiddel (20 mg/l) die beste flottasie-resultate. 'n Hoë floddertoevoer vereis 'n hoër skuimmiddelkonsentrasie van ongeveer 60 mg/l.
- 8.6 Die gebruik van groter ondervloei-openinge lewer 'n hoër swawelinhoud in die konsentraat, maar 'n laer totale herwinning van swawel. Presies dieselfde resultaat volg wanneer die massa % vastestof in die flodder verlaag word vanaf 45 na 10 %.
- 8.7 Verstopping van die ondervloei-uitlaat kan in 'n groot mate uitgeskakel word deur 'n groter annulêre opening te gebruik en dan die ondervloei-stroom verder te smoor met behulp van 'n mondstuk.

## 9. AANBEVELINGS

Riglyne vir verdere navorsing is:

- 9.1 Die keramiek waaruit die poreuse silinder vervaardig is, het nie genoeg weerstand gebied teen die eroderende werking van die flodder nie. Ander tipes materiaal behoort getoets te word.

Om bogenoemde probleem te oorbrug, is poli-etileen versterkings by die bo- en onderpunt van die silinder ingevoeg (seksie 6.3.2 en fig. 3.6). Swakker resultate is toe oor die algemeen verkry. Die vraag is nou of albei poli-etileen ringe ewe veel bygedra het tot die verlaging in flottasie-effektiwiteit. Verder is dit moontlik dat die gebruik van 'n langer poreuse gedeelte (sê 410 mm en nie 350 mm nie) tussen dié twee ringe dalk beter resultate sou lewer.

Uit resultate wat op hierdie stadium beskikbaar is, kan egter aanbeveel word dat die hele silinder poreus moet wees en nie net 'n gedeelte daarvan nie.

- 9.2 Dit blyk dat 'n kolkvinderlengte gelykstaande aan 'n  $\frac{1}{2}D_C$  tot  $1D_C$  'n goeie keuse is vir gebruik in die luggeborrelde hidrosikloon (sien seksie 6.3.3). 'n Aantal lengtes tussen 0 en  $\frac{1}{2}D_C$  kan egter getoets word om dit meer spesifiek te bevestig.

- 9.3 'n Spesifieke floddertoevoer verteenwoordig 'n spesifieke inlaatsnelheid by die bopunt van die hidrosikloon. Dit sou raadsaam wees om verskillende openinggroottes vir die inlaat te toets. Sodoende kan die effek van verskillende sentrifugale kragte by dieselfde volumetriese toevoer ondersoek word. Hierdie toetse kan gedoen word voordat verskillende hidrosikloondeursnitte getoets word.

## 10. VERWYSINGS

1. Kinneberg,D.J., Miller,J.D., "Copper sulfide flotation in an air-sparged hydrocyclone", Final report for research done on Grant G1115492, Department of metallurgy and metallurgical engineering, University of Utah, Salt Lake City, Utah, May 1983.
2. Miller,J.D., Hupka,J., "Water de-oiling in an air-sparged hydrocyclone", Filtration and separation, July/August, pp. 279 - 282, 1983.
3. Miller,J.D., Van Camp,M.C., "Fine coal flotation in a centrifugal field with an air-sparged hydrocyclone", Mining Engineering, November, pp. 1575 - 1580, 1982.
4. Janetski,N.D., Woodburn,S.I., Woods,R., "An electrochemical investigation of pyrite flotation and depression", International Journal of Mineral Processing, Vol. 4, pp. 227 - 239, 1977.
5. Glembotsskii,V.A., Klassen,V.I., Plaksin,I.N., "Flotation", Primary Sources, New York, 1963.
6. Lloyd,P.J.D., "The flotation of gold, uranium and pyrite from Witwatersrand ores", The South African institute of mining and metallurgy - vacation school on principles of flotation, University of the Witwatersrand, Johannesburg, R.S.A., July 24 - 28, 1978.
7. Mehrotra,S.P., Kapur,P.C., "The effect of aeration rate, particle size and pulp density on the flotation rate distributions", Powder Technology, Vol. 9, pp. 213 - 219, 1974.
8. Tomlinson,H.S., Fleming,M.G., "Flotation rate studies", VI International mineral processing congress, Cannes, pp. 563 - 579, May 26 - June 2, 1963.

9. Derjaguin, B.V., Dukhin, S.S., "Kinetic theory of the flotation of fine particles", XIII International mineral processing congress, Warsaw, Poland, pp. 21 - 62, June 4 - 9, 1979.
  
10. Schulze, H.J., Gottschalk, G., "Investigations of the hydrodynamic interaction between a gas bubble and mineral particles in flotation", XIII International mineral processing congress, Warsaw, Poland, pp. 63 - 85, June 4 - 9, 1979.
  
11. Flint, L.R., Howarth, W.J., "The collision efficiency of small particles with spherical air bubbles", Chemical Engineering Science, Vol. 26, No. 8, pp. 1155 - 1168, 1971.
  
12. Schulze, H.J., "New theoretical and experimental investigations on stability of bubble/particle aggregates in flotation: A theory on the upper particle size of floatability", International Journal of Mineral Processing, Vol. 4, pp. 241 - 259, 1977.
  
13. Ahmed, N., Jameson, G.J., "The effect of bubble size on the rate of flotation of fine particles", International Journal of Mineral Processing, Vol. 14, pp. 195 - 215, 1985.
  
14. Woods, R., "Electrochemistry of Sulphide Flotation", Flotation, A.M.Gaudin memorial volume, M.C. Fuerstenau (Ed.), Volume 1, Port City Press, U.S.A., pp. 298 - 333, 1976.
  
15. Klimpel, R., Hansen, R., Meyer., "The engineering characterization of flotation reagent behavior in sulfide ore flotation", XIV International Mineral Processing Congress, Toronto, Canada, October 17 - 23, 1982.



16. Ball, B., Rickard, R.S., "The chemistry of pyrite flotation and depression", Flotation, A.M. Gaudin memorial volume, M.C. Fuerstenau (Ed.), Volume 1, Port City Press, U.S.A., pp. 458 - 484, 1976.
17. Du Rietz, C., "Chemisorption of collectors in flotation", XI International mineral processing congress, Cagliari, Italy, pp. 377 - 403, April 20 - 26, 1975.
18. Haung, H.H., Miller, J.D., "Kinetics and thermochemistry of amyl xanthate adsorption by pyrite and marcasite", International Journal of Mineral Processing, Vol. 5, pp. 241 - 266, 1978.
19. Klassen, W.I., Krokhin, S.I., "Contribution to the mechanism of action of flotation reagents", VI International mineral processing congress, Cannes, pp. 397 - 405, May 26 - June 2, 1963.
20. Harris, C.C., "Flotation machines", Flotation, A.M. Gaudin memorial volume, M.C. Fuerstenau (Ed.), Volume 2, Port City Press, U.S.A., pp. 753 - 815, 1976.
21. Gründer, W., "Dimensions of flotation cells - a contribution to dispersion and suspension effects", Paper read at full meeting of the GDMG, Berlin, 7 September, 1957.
22. Bilsung, U., Varbanov, R., Schmidt, M., Weber, H., Nikolov, A., "Flotation with intermittent air supply - a new energy-saving and flow-rate increasing method", XIII International mineral processing congress, Warsaw, Poland, pp. 1377 - 1397, June 4 - 9, 1979.
23. Iohn, P., "Zum Entwicklungsstand der rührerlosen Flotation", Aufbereitungs-Technik, Nr. 3, pp. 156 - 161, 1973.

24. Chernykh, S.I., Ponomarev, A.P., Omarov, A.M., Bershadskii, D.L., Titov, S.V., "Selection of high-volume pneumatic flotation machines", Tsvetnye Metally/Non-Ferrous metals, Vol. 24, No. 5, May 1983, pp. 102 - 104.
25. Mitrofanov, S.I., Kharina, I.P., "Using Column-type flotation cells to separate copper-molybdenum bulk concentrates", Tsvetnye Metally/Non-Ferrous metals, Vol. 24, No. 5, pp. 99 - 101, May 1983.
26. Nebera, V.P., Rebrikov, D.N., Kuz'min, V.I., "Study of lead-zinc ore flotation in a column-type machine with injector and aerator", Tsvetnye Metally/Non-Ferrous metals, Vol. 24, No. 5, pp. 99 - 101, May 1983.
27. Bahr, A., Lüdke, H., Mehrhoff, F.W., "The development and introduction of a new coal flotation cell," XIV International mineral processing congress, Toronto, Canada, October 17 - 23, 1982.
28. Bahr, A., Imhoff, R., Lüdke, H., "Application and sizing of a new pneumatic flotation cell", XV International mineral processing congress, Cannes, June 2 - 9, 1985.
29. Nonaka, M., Uchio, T., "Pressure Flotation in hydrocyclone", 2nd International conference on hydrocyclones, Bath, England, pp. 381 - 392, September 19 - 21, 1984.
30. Miller, J.D., Upadrashta, K.R., Kinneberg, D.J., Gopalakrishnan, S., "Fluid-flow phenomena in an air-sparged hydrocyclone", XV International mineral processing congress, Cannes, June 2 - 9, 1985.
31. Cevikmen, B., Dunne, R.C., "A preliminary evaluation of the air-sparged hydrocyclone", Unpublished work, Council for Mineral Technology, Ore-dressing Division, Randburg, 16 April, 1984.

32. Miller, J.D., Kinneberg, D.J., "Fast flotation with an air-sparged hydrocyclone", MINTEK 50: Proceedings of the International Conference on Mineral Science and Technology, L.F. Haughton (Ed.), Volume 1, pp. 373 - 383, 1984.
33. Bradley, D., "The Hydrocyclone", Pergamon Press Ltd., Oxford, 1965.
34. Hydrocyclones, Papers presented at an International Conference held at Churchill College, Cambridge, U.K., Organised and published by BHRA fluid engineering, October 1980
35. Fahlstrom, P.H., "Studies of the hydrocyclone as a classifier", VI International mineral processing congress, Cannes, pp. 87 -114, May 26 - June 2, 1963.
36. Masson, J.J., "Clear water output of hydrocyclones", VI International mineral processing congress, Cannes, pp. 115 - 123, May 26 - June 2, 1963.
37. "LECO automatic sulphur determinator", Brochure, Form no. 200 - 735, 2/73.
38. Wills, B.A., "Mineral Processing Technology", 2nd edition, Pergamon Press, Oxford, 1981.

## BYLAAG A

INVLOED VAN VERSKILLEND PYPKONFIGURASIES BY VERDELINGSPUNT  
TUSSEN HERSIRKULASIESTROOM EN HIDROSIKLOONTOEVOER.A-1: Eksperimentele ondersoek

Resultate van agt verskillende eksperimente word hier gebruik om kortliks die invloed van swak menging en nie-homogene verdelings van die flodder te illustreer. Aangesien hier slegs na die toestande in die tenk en toevoerpype gekyk word, is die ontwerpparameters waarby die hidrosikloon bedryf is, nie relevant tot die probleem nie.

Skuimmiddelbyvoeging was vir al agt lopies gelyk aan 32 mg/l, terwyl die hoeveelheid kollektor (met die uitsondering van die laaste voorbeeld) altyd 40 dele per miljoen was. Die massa % vastestof in die flodder was deurgaans 10%.

Figuur A.2 toon die drie konfigurasies wat by die verdelingspunt (figuur A.1) gebruik is en waarna reeds in seksie 3.1 verwys is.

A-2: Bespreking van tendense waargeneem

## (a) Gebruik van konfigurasie in figuur A.2(a)

Oorspronklik is 'n pypdeursnee van 25 mm gebruik vir die toevoer vanaf die kondisioneringstank na die sentrifugale pomp, sodat die hersirkulasiestroom toegedraai moes word indien 'n hoë voertempo na die hidrosikloon (45 liter per minuut en hoër) verlang is. In sodanige geval was die stuwerbeweging die enigste mengaksie in die tenk.

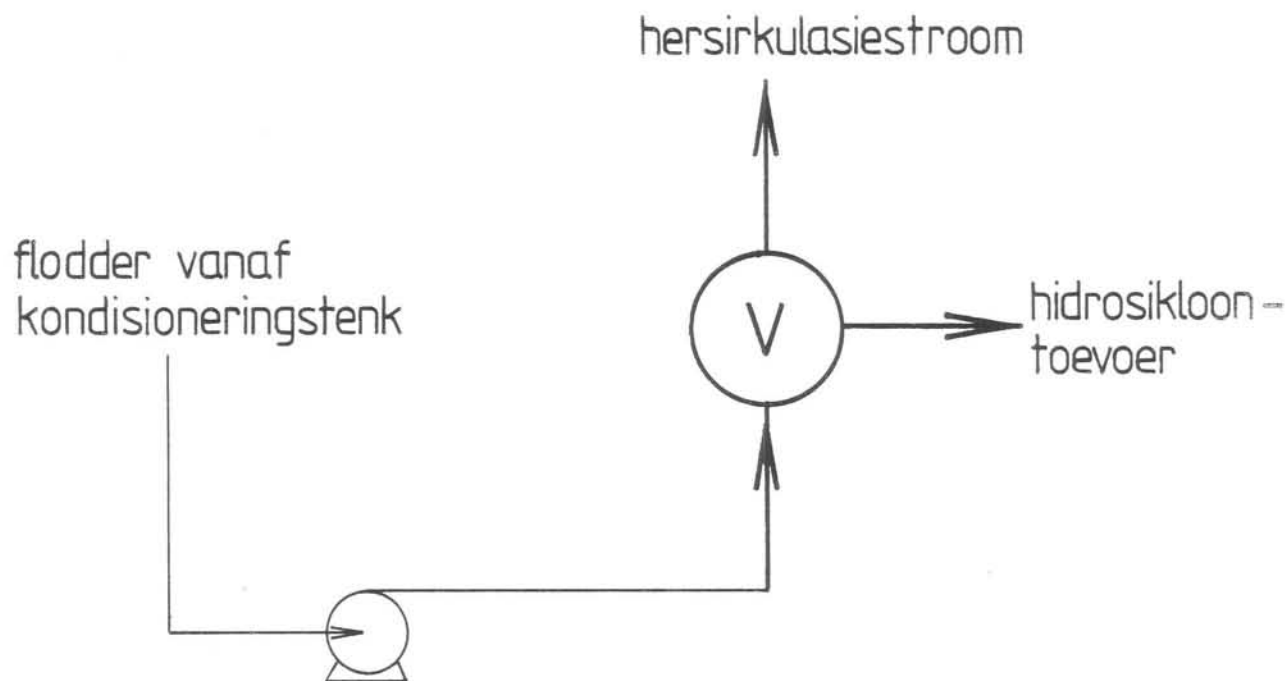


Fig. A.1: Definiëring van die verdelingspunt (V) tussen die hersirkulasiestroom en die toevoer na die hidrosikloon.

hersirkulasie

a

hidrosikloon

hersirkulasie

b

hidrosikloon

hersirkulasie

c

hidrosikloon

Fig. A.2: Drie verskillende pypkonfigurasies by die verdelingspunt.

Resultate van drie lopies wat met bogenoemde opstelling gedoen is, word in figure A.3 en A.4 getoon. Die toetse by verskillende floddertoevoertempo's na die hidrosikloon is in die volgorde van hoë na lae vloei tempo's gedoen.

Dit blyk dat die mengproses nie voldoende was indien die hersirkulasiestroom toe was nie en 'n konsentrasieprofiel (met die swaarder partikels aan die onderkant) het in die tenk ontstaan. 'n Floddermonster met 'n hoër digtheid is dus aan die onderkant van die tenk onttrek tydens die eerste toets by 67 liter per minuut. Die oorblywende flodder sou dus effektief 'n laer ertsinhoud as 10% hê, wat dan ook deur daaropvolgende toetse aangetoon word (fig. A.3).

By lae toevoertempo's na die hidrosikloon was menging in die tenk baie beter: eerstens omdat die hersirkulasiestroom heeltemal oop was en tweedens omdat daar toe minder flodder in die tenk was. Figuur A.4 toon egter duidelik dat die pirietinhoud van die erts drasties daal tot 1,5%, wat 'n 14% afwyking toon van die verwagte gemiddelde inhoud van 1,74%. Die vermoede het dus ontstaan dat die konfigurasie (a) by die verdelingspunt (V) ook 'n rol te speel het, deurdat swaarder partikels met 'n hoër momentum (soos bv. piriet) 'n neiging sou hê om liever die algemene vloeirigting na die hersirkulasiestroom te volg as om 'n momentumverandering te ondergaan en in die sikloontoevoer te beland. Hoe groter die verhouding van (volume hersirkulasie per volume sikloontoevoer) dus was, hoe meer prominent sou dié neiging wees.

Om 'n hersirkulasiestroom wat te alle tye maksimum oop kon wees moontlik te maak, is die deursnee van die pyp wat flodder uit die tenk onttrek, vergroot na 50 mm. Die deursnee van die toevoerpyp na die verdelingspunt (V) is ook vergroot na 40 mm.

Konfigurasie (a) is nou weer gebruik, maar dié slag is die lopie se toetse vanaf lae na hoë sikloontoevoertempo's gedoen. Figuur A.5 toon nou dat die ertsinhoud van die flodder wat die sikloon bereik het, konstant laer as 10% was. Verder word dieselfde neiging vir die pirietinhoud (figuur A.6) waargeneem as wat in figuur A.4 die geval was, afgesien van die feit dat toetse in die teenoorgestelde volgorde gedoen is. As in gedagte gehou word dat menging sigbaar verbeter is deur die sterk hersirkulasiestroom (van tussen 200 en 240 liter per minuut), is bogenoemde tendense 'n verdere staving van die argument dat die verandering van vloeirigting by die verdelingspunt (V) nie-ewekansige verdeling tot gevolg het.

(b) Gebruik van konfigurasie in figuur A.2(b)

Hier word weer eens verwys na figure A.5 en A.6. Die resultate van twee lopies word hier gegee. In beide lopies is die toetse by lae sikloonvoertempo's eerste gedoen. 'n Meer prominente afwyking van die verwagte gedrag word hier waargeneem en dit is duidelik dat klassifikasie by die verdelingspunt (V) moes plaasvind. By lae sikloonvoertempo's is die vloeisnelheid van die hersirkulasiestroom aansienlik groter as dié van die sikloontoevoer (by die verdelingspunt). Dit blyk dan dat die swaar vastestof-partikels (en nog te meer die swaarder pirietpartikels) sou neig om na die gebied van lae vloeisnelheid uit te beweeg. Van daar dan die duidelike neiging wat vir beide die % vastestof en die % swawelinhoud in die sikloontoevoer waargeneem is.

(c) Gebruik van konfigurasie in figuur A.2(c)

'n Moontlike oplossing tot die probleem het die volgende impliseer:



Beide die hersirkulasiestroom en sikloontoevoerstroom moes so min as moontlik veranderinge van vloeirigting ondergaan by die verdelingspunt (V).

Vloeisnelhede van dié twee strome moes so ver as moontlik dieselfde wees.

Figuur A.2(c) stel dus 'n Y-vormige pypverdeling voor wat sodanig is dat:

- Deursnee van hersirkulasiepyp = 40 mm
- Deursnee van sikloontoevoerpypp = 19 mm
- Verhouding van vloei-areas =  $19^2/40^2$   
= 0,23

Die gebruik van 'n toevoer van ongeveer 45 liter per minuut vir die hidrosikloon, het daartoe gelei dat die vloeisnelhede in beide rigtings dieselfde ( $45/200 = 0,23$ ) was.

Resultate in figure A.7 en A.8 toon 'n duidelike verbetering in die verdeling. Die swawelinhoud vergelyk goed met die verwagte waarde van 1,74% en bly min of meer konstant vir al die toetse. Alle verdere eksperimentele lopies is dus gedoen deur konfigurasie (c) te gebruik en toetse is altyd in volgorde van hoë na lae sikloonvoertempo's gedoen. Eksperimente wat met 30 massa % en 45 massa % flodderys gedoen is, het net sulke goeie resultate (selfs beter) gelewery.

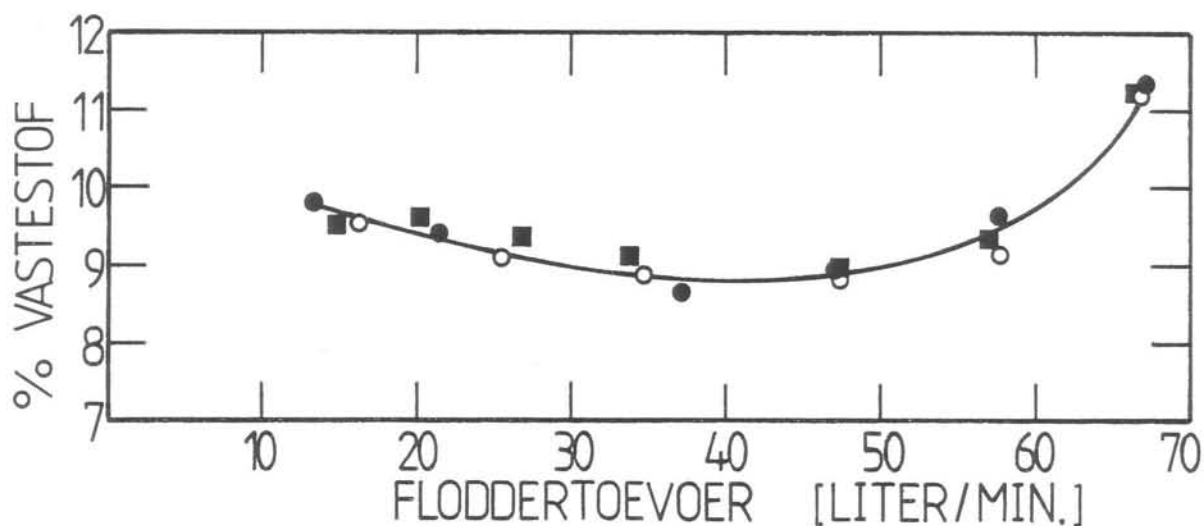


Fig. A.3: Persentasie vastestof in toevoer soos bereken uit massabalans. Drie verskillende lopies met konfigurasië (a). Swak menging in tenk.

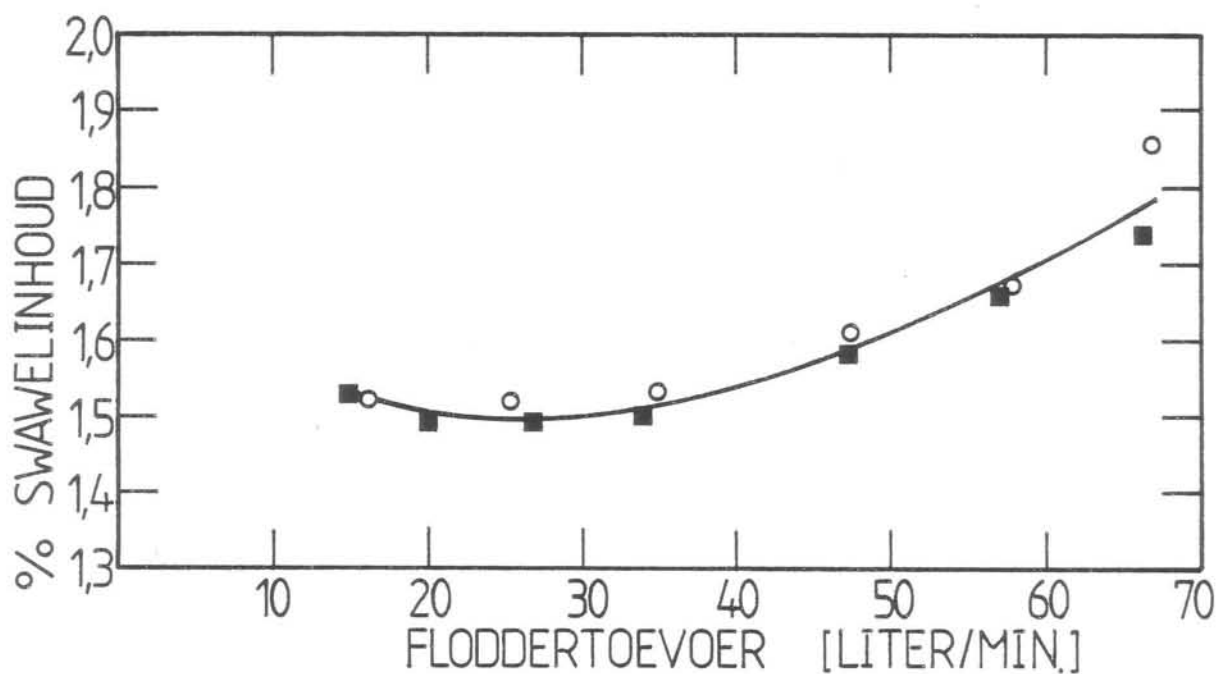


Fig. A.4: Persentasie swawel in vastestoftoevoer soos bereken uit massabalans. Twee verskillende lopies met konfigurasië (a). Swak menging.

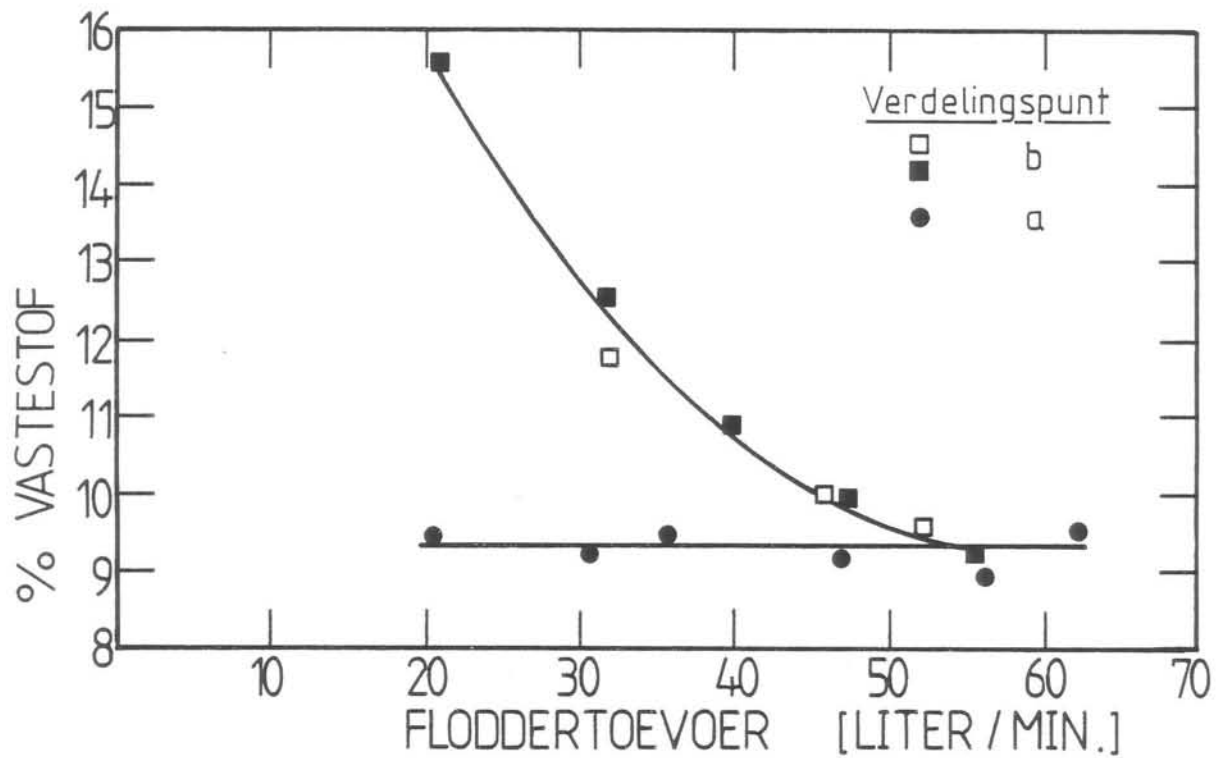


Fig. A.5: Persentasie vastestof in toevoer soos bereken uit massabalans. Goeie menging.

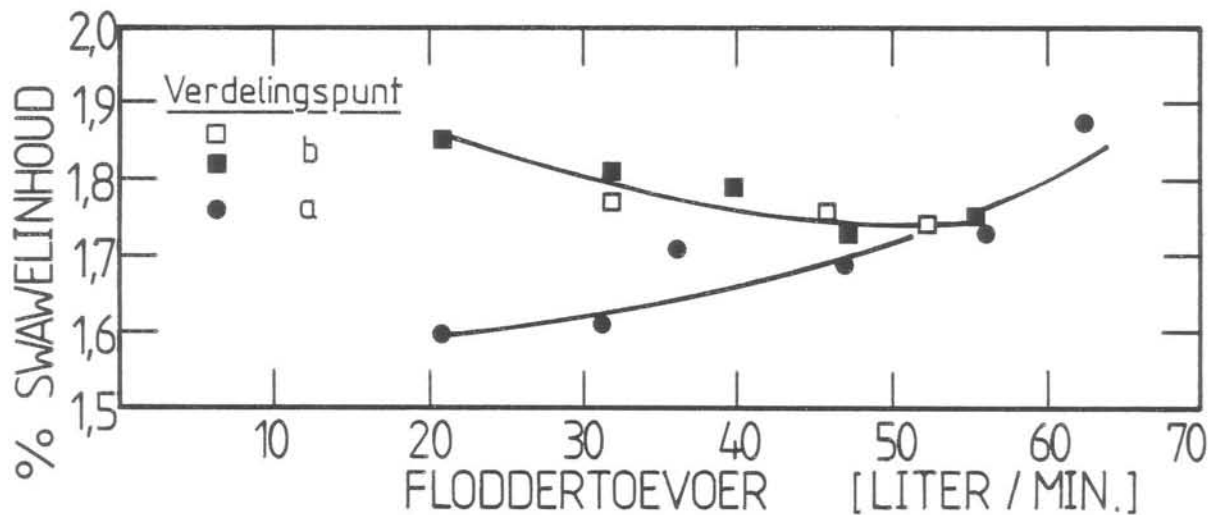


Fig. A.6: Persentasie swawel in vastestoftoevoer soos bereken uit massabalans. Goeie menging.

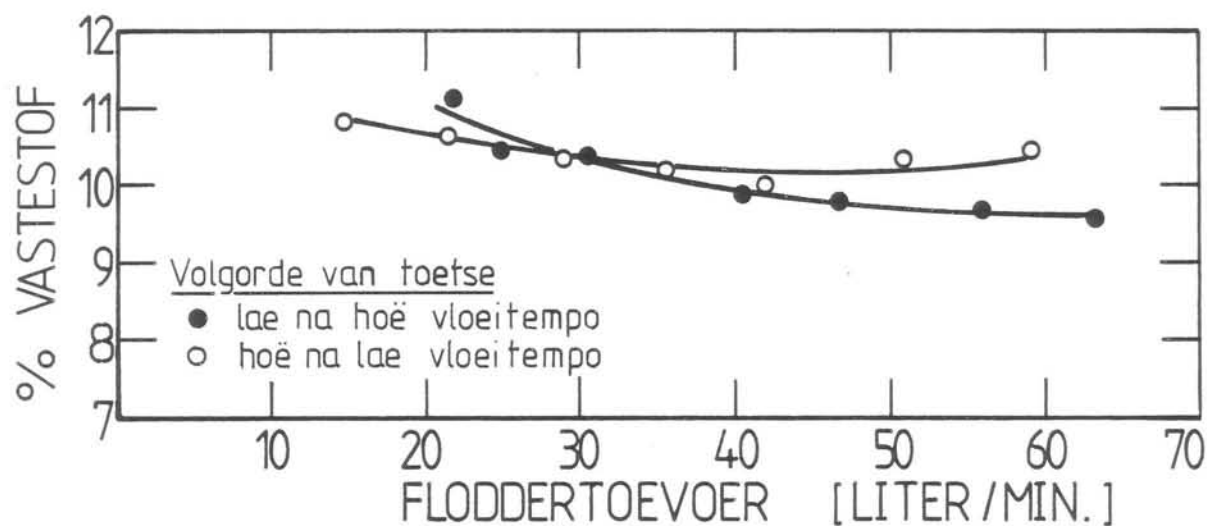


Fig. A.7: Persentasie vastestof in toevoer soos bereken uit massabalans. Konfigurasi (c).

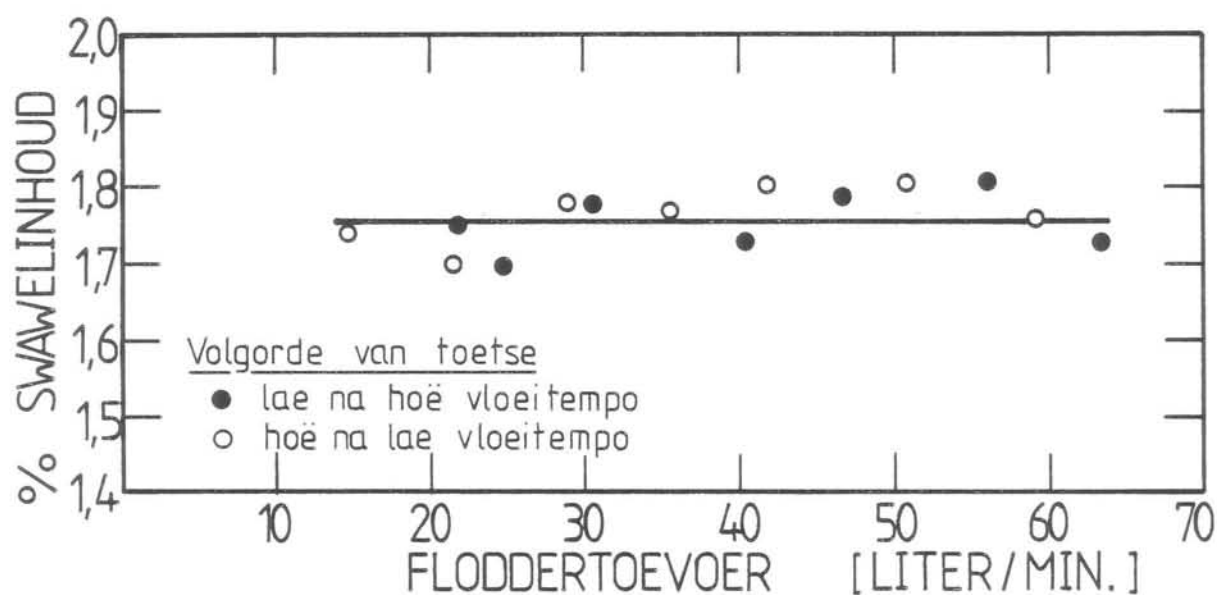


Fig. A.8: Persentasie swawel in vastestoftoevoer soos bereken uit massabalans. Konfigurasi (c).

## BYLAAG B

## SWAWELANALISES MET BEHULP VAN LECO INDUKSIE-OOND

B-1: Titrasie van verbrandingsgasse

Titrasie word uitgevoer in 50 ml van 'n 2% (vol/vol) HCl-oplossing waarby 15 ml van 'n oplossing van KI en natriumstyselglikolaat gevoeg is. (1,2 g Natriumstyselglikolaat plus 2 g KI per liter oplossing)

Met byvoeging van  $\text{KIO}_3$  verloop die reaksie soos volg:



Tydens verbranding vind hoofsaaklik plaas:



Die  $\text{SO}_2$  word nou deur die titrasie-oplossing geborrel:



$\text{KIO}_3$  word progressief bygevoeg sodat die finale kleur van die titrasie-oplossing (ná 6 minute verbranding) 'n ligte blou is. Dit is belangrik om nooit toe te laat dat die kleuromslagpunt oorskry word tot heeltemal kleurloos nie, want in sodanige geval sal daar 'n tekort aan  $\text{I}_2$  ontstaan met die gepaardgaande verlies aan  $\text{SO}_2$ .

'n  $\text{KIO}_3$ -oplossing met konsentrasie van 1,1125 gram per liter is gebruik, sodat 1 ml  $\text{KIO}_3$  dus empiries ekwivalent aan 0,0005 g swawel was.

MINTEK-standaarde (14/81 tot 20/81) is gebruik om die korreksiefaktor vir hierdie analisemetode te bepaal. Tabel B.2 gee korreksiefaktore wat periodiek met verskillende standaarde bepaal is. 'n Faktor van 1,02 is dus normaalweg gebruik.

B-2: Tipiese berekeninge en herhaalbaarheid

Tabel B.2 toon duidelik dat herhaalbaarheid van die LECO heeltemal goed was. Uit die 90 analyses wat gedoen is om 'n korreksiefaktor te bepaal, is 'n standaardafwyking van 0,01 verkry (met 'n gemiddelde korreksiefaktor van 1,02). Tipiese bepaling van 'n korreksiefaktor word in tabel B.1 getoon:

Tabel B.1: Bepaling van korreksiefaktor vir LECO m.b.v. MINTEK-standaarde

| Standaard gebruik | Massa afgeweeg (g) | Volume $\text{KIO}_3$ benodig (ml) | % Swawel as $\text{SO}_2$ | Werklike S-inhoud (%) | Faktor |
|-------------------|--------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------|--------|
| 15/81             | 0,3918             | 4,12                               | 0,526                     | 0,54                  | 1,027  |
| 16/81             | 0,3979             | 8,89                               | 1,117                     | 1,14                  | 1,021  |
| 19/81             | 0,0323             | 8,69                               | 13,45                     | 13,8                  | 1,026  |
| 20/81             | 0,0205             | 13,24                              | 32,29                     | 32,8                  | 1,016  |

Neem nou die standaard 16/81 as voorbeeld:

8,89 ml  $\text{KIO}_3$  is ekwivalent aan  $(0,0005 \times 8,89)$  gram swawel. Die persentasie swawel in die monster wat dus as  $\text{SO}_2$  vrygestel is

$$= (0,0005 \times 8,89 \times 100) / 0,3979$$

$$= 1,117\%$$

Die korreksiefaktor word dus bereken as:  $1,14 / 1,117$

$$= 1,021$$

Die bepaling van die swawelinhoud van 'n ertsmonster is op presies dieselfde manier gedoen deur eers die persentasie swawel wat as  $\text{SO}_2$  vrygestel word te bepaal. Hierdie waarde is dan met die korreksiefaktor (1,02) vermenigvuldig om die werklike swawelinhoud van die monster te verkry.

Tabel B.2: Korreksiefaktore vir die LECO, soos periodiek bepaal.

| MINTEK<br>std.       | 14/81 | 15/81  | 16/81  | 17/81  | 19/81 | 20/81   |  |
|----------------------|-------|--|--|--|-------|---|--|
| Werklike<br>% Swawel | 0,19  | 0,54   | 1,14   | 3,7  | 13,8  | 32,8  |  |
| Faktor               | 1,011 | 1,027<br>1,025<br>1,022<br>1,006<br>1,013<br>1,013<br>1,004<br>1,025<br>1,015<br>1,027<br>1,032<br>1,022<br>1,012<br>1,014<br>1,013<br>1,038<br>1,023<br>1,001<br>1,010<br>1,022<br>1,010<br>1,010 | 1,027<br>1,025<br>1,025<br>1,034<br>1,026<br>1,049<br>1,027<br>1,038<br>1,040<br>1,044<br>1,021<br>1,020<br>1,035<br>1,025<br>1,010<br>1,012<br>1,024<br>1,017<br>1,033<br>1,016<br>1,018<br>1,023<br>1,020<br>1,033 | 1,035<br>1,030<br>1,025<br>1,034<br>1,026<br>1,049<br>1,027<br>1,038<br>1,040<br>1,044<br>1,021<br>1,020<br>1,035<br>1,025<br>1,010<br>1,012<br>1,024<br>1,017<br>1,033<br>1,016<br>1,018<br>1,023<br>1,020<br>1,033 | 1,016 | 1,008<br>1,010<br>1,004<br>1,012<br>1,010<br>1,015<br>1,006<br>1,026<br>1,010<br>1,014<br>1,013<br>1,010<br>1,010<br>1,022<br>1,016<br>1,018<br>1,007<br>1,022<br>1,012 | 1,017<br>1,020<br>1,020<br>1,015<br>1,030<br>1,017<br>1,013<br>1,016<br>1,015<br>1,021<br>1,031<br>1,017<br>1,025<br>1,025<br>1,037<br>1,033<br>1,040<br>1,031<br>1,037<br>1,013<br>1,017<br>1,029 |

gemiddelde = 1,021

standaardafwyking = 0,0102

## BYLAAG C

## TIPIESE RESULTATE MET BEREKENINGE

C-1: Flottasie in luggeborrelde hidrosikloon(a) Resultate van lopie met 30 massa % flodder

Die volgende bedryfsveranderlikes is vir hierdie spesifieke eksperiment gebruik.

|                        |   |                                |
|------------------------|---|--------------------------------|
| Skuimmiddel            | : | 50 mg/l (13,47 g / 269 l)      |
| Kollektor              | : | 80 g/ton (8,0 g / 100 kg)      |
| Lugtoevoer             | : | 205 l/min                      |
| Voetstuk               | : | -koniese voetstukring (A)      |
|                        |   | -diepte = 34 mm                |
|                        |   | -effektiewe deursnee = 49,0 mm |
| Lengte van kolkvinder  | : | 50 mm                          |
| % vastestof in flodder | : | 30 %                           |
| pH van flodder         | : | 4,5                            |

Tabelle C.1, C.2 en C.3 bevat data en resultate soos versamel tydens die eksperiment. Die resultate van toets nommer 5 word as tipiese voorbeeld in tabel C.3 getoon om die herwinning van swavel in die afsonderlike partikel-grootte-fraksies te illustreer.



Tabel C.1: Data versamel deur monsterneming tydens eksperimentele lopie met die luggeborrelde hidrosikloon (30% flodder)

| Toets no. | Voertempo gemeet (l/min.) | Tyd (s) | Ondervloei Massas (gram) |          |          | Bovloei Massas (gram) |          |          |
|-----------|---------------------------|---------|--------------------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|
|           |                           |         | $M_{to}$                 | $M_{vo}$ | $M_{wo}$ | $M_{tb}$              | $M_{vb}$ | $M_{wb}$ |
| 1         | 59,3                      | 15,82   | 14970                    | 5693     | 9277     | 4655                  | 147,3    | 4508     |
| 2         | 50,6                      | 16,62   | 13600                    | 5135     | 8465     | 4152                  | 194,4    | 3958     |
| 3         | 41,1                      | 18,46   | 12150                    | 4524     | 7626     | 3912                  | 283,8    | 3628     |
| 4         | 34,2                      | 28,12   | 15240                    | 5773     | 9467     | 5354                  | 466,9    | 4887     |
| 5         | 27,4                      | 35,22   | 15350                    | 5972     | 9378     | 5768                  | 455,0    | 5313     |
| 6         | 19,4                      | 48,87   | 13640                    | 4991     | 8649     | 6532                  | 745,4    | 5787     |
| 7         | 18,7                      | 41,50   | 11410                    | 4556     | 6854     | 5520                  | 605,9    | 4914     |

Tabel C.2: Verwerkte resultate met data uit tabel C.1, sowel as data vanaf LECO-analises

| Toets no. | $\dot{M}$ | $\dot{V}$ | Fld. | $H_{wt}$ | $H_{vt}$ | $I_{so}$ | $I_{sb}$ | $I_{sg}$ | $H_s$ |
|-----------|-----------|-----------|------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 1         | 74,4      | 60,3      | 29,8 | 32,7     | 2,52     | 0,916    | 33,2     | 1,73     | 48,4  |
| 2         | 64,1      | 51,9      | 30,0 | 31,9     | 3,65     | 0,528    | 35,5     | 1,80     | 71,8  |
| 3         | 52,2      | 42,3      | 29,9 | 32,2     | 5,90     | 0,411    | 22,9     | 1,74     | 77,8  |
| 4         | 43,9      | 35,5      | 30,3 | 34,1     | 7,48     | 0,424    | 18,2     | 1,75     | 77,6  |
| 5         | 36,0      | 29,0      | 30,4 | 36,2     | 7,08     | 0,444    | 19,1     | 1,76     | 76,6  |
| 6         | 24,8      | 20,3      | 28,4 | 40,1     | 13,0     | 0,563    | 10,7     | 1,88     | 74,0  |
| 7         | 24,5      | 19,7      | 30,5 | 41,8     | 11,7     | 0,534    | 10,6     | 1,72     | 72,5  |

Tabel C.3: Tipiese resultate van analises in elke grootte-fraksie. Toets no. 5 (sien tabel C.2).

| Grootte-fraksie<br>(mikron) | Bovloei   |           | Ondervloei |           | $F_t$                               | $H_{vf}$ | $H_{sf}$ | $I_{sft}$ | $I_{st}$ |
|-----------------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-------------------------------------|----------|----------|-----------|----------|
|                             | $I_{sfb}$ | $I_{vfb}$ | $I_{sfo}$  | $I_{vfo}$ |                                     |          |          |           |          |
| +212                        | 5,5       | 1,36      | 0,23       | 7,31      | 6,89                                | 1,40     | 25,3     | 0,304     | 0,021    |
| -212+150                    | 15,9      | 13,32     | 0,30       | 30,06     | 28,9                                | 3,27     | 64,2     | 0,810     | 0,234    |
| -150+106                    | 27,5      | 20,94     | 0,49       | 31,36     | 30,6                                | 4,84     | 74,1     | 1,80      | 0,551    |
| -106+75                     | 28,0      | 14,33     | 0,50       | 11,67     | 11,9                                | 8,56     | 84,0     | 2,85      | 0,338    |
| -75+53                      | 26,1      | 14,08     | 0,48       | 9,22      | 9,56                                | 10,4     | 86,4     | 3,15      | 0,301    |
| -53+38                      | 20,1      | 10,07     | 0,48       | 4,61      | 5,00                                | 14,3     | 87,5     | 3,28      | 0,164    |
| -38                         | 6,6       | 25,94     | 0,67       | 5,76      | 7,19                                | 25,6     | 77,2     | 2,19      | 0,157    |
|                             |           | 100,0     |            | 100,0     | $H_{sg} = 77,7 \quad I_{sg} = 1,77$ |          |          |           |          |

(b) Algemene vergelykings vir resultaatverwerking

Alle vergelykings is basiese massabalanses wat volledigheidshalwe hier gegee word.

Die volgende vergelykings geld om data soos in tabel C.1 te verwerk na resultate soos in tabel C.2.

$$\dot{M} = \frac{60}{t} (M_{tb} + M_{to}) \frac{1}{1000} \dots\dots\dots [C1]$$

$$\dot{V} = \frac{60}{t} \left( \frac{M_{vo} + M_{vb}}{\rho_e} \right) + \frac{60}{t} (M_{wo} + M_{wb}) \frac{1}{1000} \dots\dots\dots [C2]$$

$$Fld. = \left( \frac{M_{vo} + M_{vb}}{M_{to} + M_{tb}} \right) 100 \dots\dots\dots [C3]$$

$$H_{wt} = \left( \frac{M_{wb}}{M_{wo} + M_{wb}} \right) 100 \dots\dots\dots [C4]$$

$$H_{vt} = \left( \frac{M_{vb}}{M_{vo} + M_{vb}} \right) 100 \dots\dots\dots [C5]$$

$$H_s = \left( \frac{M_{vb} I_{sb}}{M_{vo} I_{so} + M_{vb} I_{sb}} \right) 100 \dots\dots\dots [C6]$$

$$I_{sg} = \frac{M_{vo} I_{so} + M_{vb} I_{sb}}{M_{vo} + M_{vb}} \dots\dots\dots [C7]$$

Om nou swael- en vastestofherwinnings in elke partikel-groottefraksie te bereken (tabel C.3), word van die volgende vergelykings gebruik gemaak.

$$F_t = \frac{100I_{vfo} + H_{vt}(I_{vfb} - I_{vfo})}{100} \dots\dots\dots[C8]$$

$$H_{vf} = \frac{100H_{vt}I_{vfb}}{100I_{vfo} + H_{vt}(I_{vfb} - I_{vfo})} \dots\dots\dots[C9]$$

$$H_{sf} = \frac{100H_{vt}I_{vfb}I_{sfb}}{100I_{vfo}I_{sfo} + H_{vt}(I_{vfb}I_{sfb} - I_{vfo}I_{sfo})} \dots\dots\dots[C10]$$

$$I_{sft} = \frac{100I_{vfo}I_{sfo} + H_{vt}(I_{vfb}I_{sfb} - I_{vfo}I_{sfo})}{100I_{vfo} + H_{vt}(I_{vfb} - I_{vfo})} \dots\dots\dots[C11]$$

$$I_{st} = F_t I_{sft} / 100 \dots\dots\dots[C12]$$

$$H_{sg} = \frac{100H_{vt}\Sigma(I_{vfb}I_{sfb})}{100\Sigma(I_{vfo}I_{sfo}) + H_{vt}\Sigma(I_{vfb}I_{sfb} - I_{vfo}I_{sfo})} \dots\dots[C13]$$

$$I_{sg} = \Sigma I_{st} \dots\dots\dots[C14]$$

(c) Tipiese berekeninge

Beskou toets nommer 5 in tabel C.1.

$$\begin{aligned} \dot{M} &= \frac{60}{35,22} (15350 + 8768) \frac{1}{1000} \\ &= 36,0 \text{ kg/min.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{60}{35,22} \left\{ \left( \frac{5972 + 455}{2747} \right) + \left( \frac{9378 + 5313}{1000} \right) \right\} \\ &= 29,0 \text{ l/min.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fld.} &= \left( \frac{5972 + 455}{15350 + 5768} \right) 100 \\ &= 30,4 \% \end{aligned}$$

$$H_{wt} = \left( \frac{5313}{9378 + 5313} \right) 100$$

$$= 36,2 \%$$

$$H_{vt} = \left( \frac{455}{5972 + 455} \right) 100$$

$$= 7,08 \%$$

$$H_s = \left( \frac{455 \times 19,1}{5972 \times 0,444 + 455 \times 19,1} \right) 100$$

$$= 76,6 \%$$

$$I_{sg} = \frac{5972 \times 0,444 + 455 \times 19,1}{5972 + 455}$$

$$= 1,76 \%$$

Beskou nou die -75+53 mikron groottefaksie (in tabel C.3) as voorbeeld vir verdere berekeninge.

$$F_t = \frac{100 \times 9,22 + 7,08 (9,22 - 14,08)}{100}$$

$$= 9,56 \%$$

$$H_{vt} = \frac{100 \times 7,08 \times 14,08}{100 \times 9,22 + 7,08 (14,08 - 9,22)}$$

$$= 10,4 \%$$

$$H_{sf} = \frac{100 \times 7,08 \times 14,08 \times 26,1}{100 \times 9,22 \times 0,48 + 7,08 (14,08 \times 26,1 - 9,22 \times 0,48)}$$

$$= 86,4 \%$$

$$I_{sft} = \frac{100 \times 9,22 \times 0,48 + 7,08 (14,08 \times 26,1 - 9,22 \times 0,48)}{100 \times 9,22 + 7,08 (14,08 - 9,22)}$$

$$= 3,15 \%$$

$$I_{st} = (9,56 \times 3,15) / 100$$

$$= 0,301 \%$$

(d) Eksperimentele betroubaarheid

Die berekening van die flodderdigtheid (Fld.) en swawelinhoud ( $I_{sg}$ ) van die toevoerstroom was nie noodsaaklik vir die weergee van resultate nie. Hierdie waardes is nogtans terugbereken met behulp van analise-resultate en dan vergelyk met die verwagte waardes.

Direkte bepalinge van die swawelinhoud van die toevoerers se waardes tussen 1,7 en 1,8 gelewer. Die massa % vastestof van die flodder in die kondisioneringstenk was eksak bekend vir elke lopie. Indien die Fld.- en  $I_{sg}$ -waardes nie realisties vergelyk het met hierdie verwagte waardes nie (soos bv. die geval was in Bylaag A se figure A.3 tot A.6), is aanvaar dat die resultate van sodanige lopies onbetroubaar was.

Tabel C.2 se Fld.- en  $I_{sg}$ -waardes is tipies van lopies waarvan die resultate (en dus ook die analises) betroubaar was. Daar kan ook verwys word na Bylaag B vir meer inligting omtrent die herhaalbaarheid van swawelanalises.

C-2: Flottasie in BARKER-enkelladingsel(a) Resultate van lopie met 30 massa % flodder

Die volgende bedryfstoestande is vir hierdie spesifieke lopie gekies:

|                               |   |             |
|-------------------------------|---|-------------|
| Skuimmiddel                   | : | 50 mg/l     |
| Kollektor                     | : | 160 g/ton   |
| % Vastestof in flodder        | : | 30 %        |
| Skuimhoogte                   | : | 24 mm       |
| Omwentelingspoed van stuer    | : | 1500 r.p.m. |
| Lugtoevoer                    | : | 7,0 l/min.  |
| Watertoevoer vir skuimdreiner | : | 0,03 l/min. |
| pH van flodder                | : | 4,5         |

Vyf afsonderlike flottasietoetse is gedoen waarvan die gesamentlike monstermassas gebruik is om die herwinning van swawel in die afsonderlike groottefraksies te bepaal. Verder is daar by slegs drie tydsverlope monsters getrek (40, 120 en 300 sekondes - kumulatief). Gemiddelde resultate word nou in tabelle C.4 tot C.6 gegee.

- Die massa vastestof in die ondervloei was 1049,1 gram (94,8 % van die totale ertsmassa).
- Totale ertsmassa was 1107,0 gram.

Tabel C.4: Totale vastestofherwinning tydens enkellading-flottasie

| Tydsverloop (s) | Massa vastestof (g) | % Van die totale erts massa ( $H_{vt}$ ) | Kumulatiewe massa-% |
|-----------------|---------------------|--|---------------------|
| 40              | 27,7                | 2,50                                     | 2,50                |
| 120             | 18,6                | 1,68                                     | 4,18                |
| 300             | 11,6                | 1,05                                     | 5,23                |

Tabel C.5: Sif- en swawelanalises vir vastestof van die onder- en bovloei-produkte (soos in tabel C.4).

| Grootte-fraksie (mikron) | Tydsverloop (s) |           |           |           |           |           | Ondervloei |           |
|--------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
|                          | 40              |           | 120       |           | 300       |           | $I_{vfo}$  | $I_{sfo}$ |
|                          | $I_{vfb}$       | $I_{sfb}$ | $I_{vfb}$ | $I_{sfb}$ | $I_{vfb}$ | $I_{sfb}$ |            |           |
| +212                     | 3,23            | 20,7      | 4,56      | 13,3      | 3,84      | 8,29      | 14,08      | 0,020     |
| -212+150                 | 18,22           | 31,8      | 19,22     | 26,0      | 12,74     | 20,1      | 30,14      | 0,031     |
| -150+106                 | 25,20           | 44,1      | 20,96     | 40,5      | 11,52     | 35,3      | 21,45      | 0,036     |
| -106+75                  | 21,16           | 47,3      | 17,70     | 43,3      | 10,12     | 38,9      | 14,41      | 0,055     |
| -75+53                   | 14,11           | 47,0      | 11,51     | 43,4      | 6,46      | 33,3      | 8,78       | 0,054     |
| -53+38                   | 5,51            | 45,4      | 4,02      | 41,6      | 2,79      | 22,5      | 3,00       | 0,086     |
| -38                      | 12,56           | 29,5      | 22,04     | 14,0      | 52,53     | 2,87      | 7,94       | 0,187     |



Tabel C.6 Kumulatiewe swawelherwinning en swawelinhoud vir die verskillende partikelgrootte-fraksies (data uit tabel C.5).

| Grootte-fraksie (mikron) | Bovloei-tydsverloop (s) |                 |                  |                 |                 |                  |                 |                 |                  |
|--------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|
|                          | 40                      |                 |                  | 120             |                 |                  | 300             |                 |                  |
|                          | H <sub>vf</sub>         | H <sub>sf</sub> | I <sub>sfb</sub> | H <sub>vf</sub> | H <sub>sf</sub> | I <sub>sfb</sub> | H <sub>vf</sub> | H <sub>sf</sub> | I <sub>sfb</sub> |
| +212                     | 0,60                    | 50,8            | 20,7             | 1,16            | 81,7            | 17,1             | 1,46            | 91,9            | 15,3             |
| -212+150                 | 1,55                    | 54,8            | 31,8             | 2,64            | 86,5            | 29,4             | 3,09            | 96,7            | 28,0             |
| -150+106                 | 2,94                    | 59,1            | 44,1             | 4,58            | 89,9            | 42,8             | 5,15            | 98,4            | 42,0             |
| -106+75                  | 3,63                    | 58,5            | 47,3             | 5,66            | 88,6            | 45,9             | 6,39            | 98,3            | 45,1             |
| -75+53                   | 3,95                    | 59,9            | 47,0             | 6,11            | 90,2            | 45,7             | 6,87            | 98,4            | 44,4             |
| -53+38                   | 4,48                    | 62,8            | 45,4             | 6,67            | 90,9            | 44,1             | 7,62            | 97,6            | 41,4             |
| -38                      | 3,58                    | 53,1            | 29,5             | 7,81            | 82,9            | 21,1             | 14,1            | 91,9            | 13,0             |

(b) Algemene vergelykings vir resultaatverwerking

$$I_{vt} = 10^{-2} [ I_{vfo}(\% \text{ massa onder}) + (I_{vfb}H_{vt})_{40s} + (I_{vfb}H_{vt})_{120s} + (I_{vfb}H_{vt})_{300s} ] \dots\dots[C15]$$

$$I_{st} = 10^{-4} [ I_{sfo}I_{vfo}(\% \text{ massa onder}) + (I_{vfb}I_{sfb}H_{vt})_{40s} + (I_{vfb}I_{sfb}H_{vt})_{120s} + (I_{vfb}I_{sfb}H_{vt})_{300s} ] \dots\dots[C16]$$

Na 40 sekondes van flottasie geld nou:

$$H_{vf} = \frac{H_{vt}I_{vfb}}{I_{vt}} \dots\dots[C17]$$

$$H_{sf} = \frac{H_{vt}I_{vfb}I_{sfb}}{100 I_{st}} \dots\dots[C18]$$

$$I_{sfb}(\text{kum}) = I_{sfb} \dots\dots[C19]$$

Na 120 sekondes van flottasie geld op 'n kumulatiewe basis dat:

$$H_{vf} = (H_{vf})_{40s} + \left( \frac{H_{vt}I_{vfb}}{I_{vt}} \right)_{120s} \dots\dots[C20]$$

$$H_{sf} = (H_{sf})_{40s} + \left( \frac{H_{vt}I_{vfb}I_{sfb}}{100 I_{st}} \right)_{120s} \dots\dots[C21]$$

$$I_{sfb}(\text{kum}) = \frac{(H_{vt}I_{vfb}I_{sfb})_{40s} + (H_{vt}I_{vfb}I_{sfb})_{120s}}{(H_{vt}I_{vfb})_{40s} + (H_{vt}I_{vfb})_{120s}} \dots[C22]$$

Na 300 sekondes van flottasie geld op 'n kumulatiewe basis dat:

$$H_{vf} = (H_{vf})_{120s} + \left( \frac{H_{vt}I_{vfb}}{I_{vt}} \right)_{300s} \dots\dots[C23]$$

$$H_{sf} = (H_{sf})_{120s} + \left( \frac{H_{vt} I_{vfb} I_{sfb}}{100 I_{st}} \right)_{300s} \dots\dots\dots [C24]$$

$$I_{sfb}(\text{kum}) = \dots\dots\dots [C25]$$

$$\frac{(H_{vt} I_{vfb} I_{sfb})_{40s} + (H_{vt} I_{vfb} I_{sfb})_{120s} + (H_{vt} I_{vfb} I_{sfb})_{300s}}{(H_{vt} I_{vfb})_{40s} + (H_{vt} I_{vfb})_{120s} + (H_{vt} I_{vfb})_{300s}}$$

$$I_{sft} = (I_{st}/I_{vt}) 100 \dots\dots\dots [C26]$$

(c) Tipiese berekeninge

Tipiese berekeninge word nou vir die -75+38 mikron fraksie deurgevoer om te toon hoe data in tabelle C.4 en C.5 verwerk word na resultate in tabel C.6.

$$\begin{aligned} I_{vt} &= (8,78 \times 94,8 + 14,11 \times 2,50 + 11,51 \times 1,68 + 6,46 \times 1,05) 10^{-2} \\ &= 8,94 \quad \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{st} &= (8,78 \times 0,054 \times 94,8 + 14,11 \times 47,0 \times 2,50 + 11,51 \times 43,4 \times 1,68 \\ &\quad + 6,46 \times 33,3 \times 1,05) 10^{-4} \\ &= 0,277 \quad \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{sft} &= \left( \frac{0,277}{8,94} \right) 100 \\ &= 3,10 \quad \% \end{aligned}$$

Na 40 sekondes flottasie:

$$\begin{aligned} H_{vf} &= \left( \frac{2,50 \times 14,11}{8,94} \right) \\ &= 3,95 \quad \% \end{aligned}$$

$$H_{sf} = \left( \frac{2,50 \times 14,11 \times 47,0}{0,277} \right) \frac{1}{100}$$

$$= 59,9 \%$$

$$I_{sfb}(\text{kum}) = 47,0 \%$$

Na 120 sekondes flottasie:

$$H_{vf} = 3,95 + \left( \frac{1,68 \times 11,51}{8,94} \right)$$

$$= 6,11 \%$$

$$H_{sf} = 59,9 + \left( \frac{1,68 \times 11,51 \times 43,4}{0,277} \right) \frac{1}{100}$$

$$= 90,2 \%$$

$$I_{sfb}(\text{kum}) = \frac{2,50 \times 14,11 \times 47,0 + 1,68 \times 11,51 \times 43,4}{2,50 \times 14,11 + 1,68 \times 11,51}$$

$$= 45,7 \%$$

Na 300 sekondes flottasie:

$$H_{vf} = 6,11 + \left( \frac{1,05 \times 6,46}{8,94} \right)$$

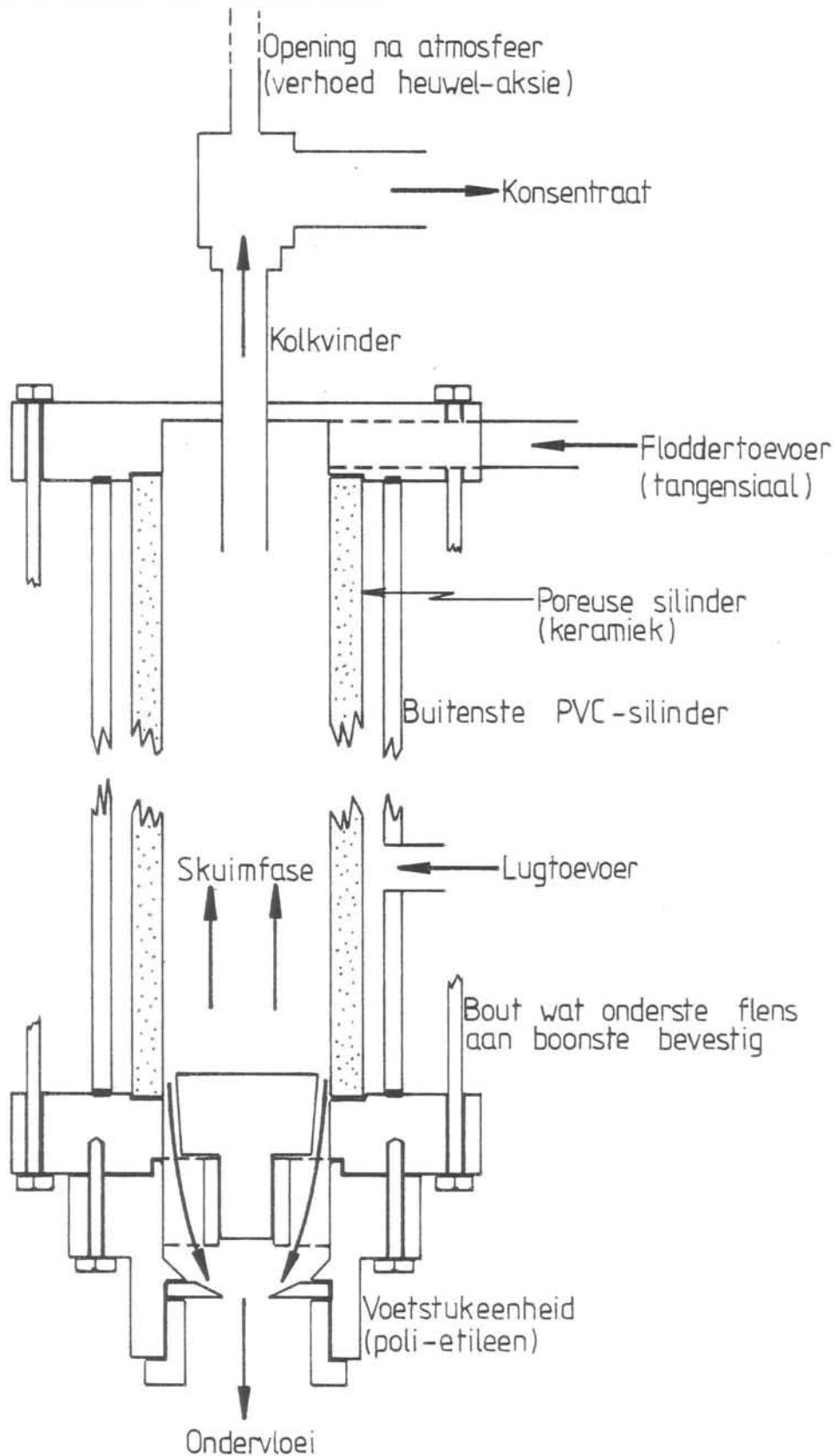
$$= 6,87 \%$$

$$H_{sf} = 90,2 + \left( \frac{1,05 \times 6,46 \times 33,3}{0,277} \right) \frac{1}{100}$$

$$= 98,4 \%$$

## BYLAAG D

DIAGRAMMATIESE VOORSTELLING VAN DIE LUGGEBORRELDE  
HIDROSIKLOON OM DIE VERSKILLENDEN ONDERDELE SOWEL  
AS DIE WERKING TE ILLUSTREREN



## SIMBOLE

|           |  | <u>Eenhede</u> |
|-----------|--|----------------|
| $D_C$     | Binnedeursnee van hidrosikloon   | mm             |
| $D_i$     | Deursnee van hidrosiklooninlaat (hidrolies-gelykwaardige deursnee vir reghoekige inlaat)                       | mm             |
| $D_O$     | Binnedeursnee van kolkvinder   | mm             |
| $D_u$     | Deursnee van ondervloei-uitlaat  | mm             |
| $d_{50}$  | Partikelgrootte met 'n 50% waarskynlikheid om na die bovloei te beweeg (50% snypunt)                           | $\mu m$        |
| Fld.      | % Vastestof in floddertoevoer  | % (kg/kg)      |
| $F_t$     | Massa van 'n spesifieke vastestof-grootte fraksie as persentasie van die totale massa vastestof in die toevoer | % (kg/kg)      |
| $g$       | Gravitasieversnelling  | $m/s^2$        |
| $H_S$     | Totale swawelherwinning  | % (kg/kg)      |
| $H_{sf}$  | Herwinning van swawel in spesifieke groottefraksie   | % (kg/kg)      |
| $H_{sg}$  | Totale swawelherwinning bereken as 'n geweegde gemiddelde van die fraksies                                     | % (kg/kg)      |
| $H_{vf}$  | Herwinning van vastestof in spesifieke groottefraksie  | % (kg/kg)      |
| $H_{vt}$  | Totale herwinning van vastestof  | % (kg/kg)      |
| $H_{wt}$  | Totale herwinning van water  | % (kg/kg)      |
| $I_{sb}$  | Swawelinhoud van die totale vastestof in bovloei   | % (kg/kg)      |
| $I_{sfb}$ | Swawelinhoud van 'n spesifieke groottefraksie in die bovloei   | % (kg/kg)      |
| $I_{sfo}$ | Swawelinhoud van 'n spesifieke groottefraksie in die ondervloei  | % (kg/kg)      |
| $I_{sft}$ | Swawelinhoud van 'n spesifieke groottefraksie in die toevoer   | % (kg/kg)      |
| $I_{sg}$  | Totale swawelinhoud van die toevoererts bereken as 'n geweegde gemiddelde van die fraksies                     | % (kg/kg)      |

|                 |   |           |
|-----------------|---|-----------|
| $I_{so}$        | Swawelinhoud van totale vastestof in die ondervloei   | % (kg/kg) |
| $I_{st}$        | Swawelinhoud van een fraksie as 'n persentasie van die totale massa vastestof in die toevoer        | % (kg/kg) |
| $I_{vfb}$       | Spesifieke vastestof-groottefraksie as persentasie van die totale massa vastestof in die bovloei    | % (kg/kg) |
| $I_{vfo}$       | Spesifieke vastestof-groottefraksie as persentasie van die totale massa vastestof in die ondervloei | % (kg/kg) |
| $I_{vt}$        | Spesifieke vastestof-groottefraksie as persentasie van die totale massa vastestof in die toevoer    | % (kg/kg) |
| $\dot{M}$       | Massavloei tempo van flodder na hidrosikloon  | kg/min    |
| $M_{tb}$        | Totale monstermassa van bovloei   | g         |
| $M_{to}$        | Totale monstermassa van ondervloei  | g         |
| $M_{vb}$        | Massa vastestof na bovloei  | g         |
| $M_{vo}$        | Massa vastestof na ondervloei   | g         |
| $M_{wb}$        | Massa water na bovloei  | g         |
| $M_{wo}$        | Massa water na ondervloei   | g         |
| $R$             | Binne-radius van hidrosikloon   | mm        |
| $r_b$           | Radius van borrel   | mm        |
| $r_o$           | Radius van porie  | mm        |
| $t$             | Tydsverloop   | s         |
| $\dot{V}$       | Volumetriese vloei tempo van flodder na hidrosikloon  | l/min.    |
| $v_{in}$        | Gemiddelde inlaatsnelheid van vloeistof in hidrosikloon.  | m/s       |
| $v_{zt}$        | Aksiale snelheid van vloeistofelement na tydsverloop $t$  | m/s       |
| $v_{\theta t}$  | Tangensiale snelheid van vloeistofelement na tydsverloop $t$  | m/s       |
| $v_{\theta zt}$ | Resulterende vektor van $v_{\theta t}$ en $v_{zt}$  | m/s       |
| $v^*$           | Genormaliseerde snelheid van lug deur porie   |           |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| $z$ | Aksiale koördinaat, gemeet afwaarts vanaf bopunt van hidrosikloon. | mm |
|-----|--|----|

Griekse simbole

|               |   |          |
|---------------|---|----------|
| $\delta$      | Dikte van die kolkende vloeistoflaag by vlak $z$  | mm       |
| $\delta_{av}$ | Gemiddelde dikte van die kolkende vloeistoflaag soos gemeet oor totale lengte van hidrosikloon. | mm       |
| $\nu$         | Kinematiese viskositeit van die water   | $m^2/s$  |
| $\nu_t$       | Turbulente kinematiese viskositeit  | $m^2/s$  |
| $\nu_\ell$    | Laminêre kinematiese viskositeit  | $m^2/s$  |
| $\Phi$        | Deursnee van voetstuk vir luggeborrelde hidrosikloon  | mm       |
| $\rho_e$      | Digtheid van ertspartikels  | $kg/m^3$ |